

جغرافية الموارد المائية

د. حامد الخطيب

مركز الدراسات والإستشارات
الجامعة الأردنية

د. حسن أبو سمور

كلية العلوم الاجتماعية والإنسانية
الجامعة الأردنية



00117433

Bibliotheca Alexandrina



﴿ وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ ﴾

صدق الله العظيم

جغرافية الموارد المائية

جغرافية الموارد المائية

تأليف

د. حامد الخطيب

مركز الدراسات والاستشارات

الجامعة الأردنية

د. حسن أبو سمور

كلية العلوم الاجتماعية والانسانية

الجامعة الأردنية

الطبعة الاولى

١٩٩٩م - ١٤٢٠هـ

دار صفاء للنشر والتوزيع - عمان

رقم الايداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (١٧٧٤ / ١٠ / ١٩٩٨)

رقم التصنيف : ٥٠١,٤٨٩١
المؤلف ومن هو في حكمه : حسن أبو سمور - د. حامد الخطيب
عنوان الكتاب : جغرافيا الموارد المائية
الموضوع الرئيسي : ١- العلوم الطبيعية
٢- علم المياه الهيدرولوجي
بيانات النشر : عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع
* - تم اعداد بيانات الفهرسة الأولية من قبل دائرة المكتبة الوطنية

حقوق الطبع محفوظة للنشر

Copyright ©
All rights reserved

الطبعة الأولى

١٩٩٩ م - ١٤٢٠ هـ



دار صفاء للنشر والتوزيع

عمان - شارع السلط - مجمع الفحص التجاري - هاتف وفاكس ٤٦١٢١٩

ص.ب ٩٢٢٧٦٢ عمان - الاردن

DAR SAFA Publishing - Distriuting

Telefax: 4612190 P.O.Box: 922762 Amman - Jordan

المحتويات

7	.....المقدمة
9	.....الفصل الأول
10	.....كميات المياه في الطبيعة
12	.....العلوم المائية
14	.....الدورة المائية العامة
19	.....الأحواض المائية
22	.....الشبكة المائية
28	.....تغذية الأنهار
33	.....السريـر النهري

الفصل الثاني

41	.....التساقط
46	.....كثافة الأمطار
47	.....قياس الأمطار
61	.....تعويض البيانات المفقودة
68	.....فترات الرجوع
70	.....الثلج
74	.....التبخر
85	.....تقدير التبخر
87	.....قياس التبخر من المسطحات المائية
88	.....أجهزة قياس التبخر
90	.....التبخر الحقيقي والتبخر الكامن
92	.....معادلة ثورنثويت

95	.....معادلة بنمان
	الفصل الثالث
101	..... الجريان
102	..... القدرة السطحية والاعتراض
105	..... الجريان السطحي
106	..... محطات قياس التصريف المائي
122	..... تحليل التصريف المائي
138	..... الفيضانات
	الفصل الرابع
151	..... المياه الجوفية
156	..... الأشكال المائية الجوفية
162	..... التغذية الاصطناعية للماء الجوفي
175	..... البحث عن الماء الجوفي
182	..... الينابيع
	الفصل الخامس
	البحيرات والمستنقعات والبحار والمحيطات
189	..... البحيرات
197	..... المستنقعات
199	..... البحار والمحيطات
	الفصل السادس
225	..... تقييم الموارد المائية في العالم
235	..... تقييم الموارد المائية في العالم العربي

المقدمة

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على رسوله الأمين.

وبعد.....

إن المياه وليست الطاقة هي مشكلة القرن الواحد والعشرين، هذا ما أكدته النتائج التي توصلت إليها المنظمات الدولية العاملة في مجال المياه. كما أن صحة الإنسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الأيكولوجية، معرضة جميعها للخطر ما لم تتم إدارة الموارد المائية والأراضي بفعالية أكثر مما كانت عليه في الماضي.

إن المياه هي من أهم العناصر التي يجب توافرها وصيانتها لتحقيق أهداف الاستراتيجية المائية الدولية وفي مقدمتها حماية البيئة وتحقيق التنمية المتواصلة. فالمناطق الجافة وشبه الجافة هي المناطق الأكثر تأثراً بالعوامل الطبيعية والنشاط البشري، وعلى المستوى الوطني فإن الدول العربية ودول الساحل الأفريقية هي الدول التي تعاني حالياً نقص المياه والذي سوف يتطور نتيجة للنمو السكاني السريع إلى عجز مائي دائم.

إننا نضع هذا الكتاب في جغرافية الموارد المائية للباحثين وطلاب الجغرافيا في الجامعات العربية كي يسد نقصاً في المكتبة العربية حول هذا الموضوع.

وتنقسم الدراسة في هذا الكتاب إلى ستة فصول، تتناول موضوعات مختلفة في مجال جغرافية الموارد المائية. حيث يتناول الفصل الأول التعريف بعلم المياه وتحديد مجاله وعلاقته بالعلوم الأخرى، ويتطرق بعد ذلك إلى الأحواض المائية، والأسرة النهرية والمقاطع الطولية والعرضية للأحواض المائية.

أما الفصل الثاني فتعرض بالتفصيل لموضوع الأمطار وطرق قياسها وتقدير كمياتها، وموضوع التبخر وطرق قياسه ومعادلات تقديره، ومحددات

وقياس الثلج.

ويناقش الفصل الثالث موضوع الجريان المائي من خلال العوامل المؤثرة فيه، وأنواع الجريان المائي ومحطات قياس التصريف المائي وأساليب تحليل البيانات الهيدرولوجية باستخدام الطرق الأحصائية والمنحنيات الهيدروغرافية والفيضانات.

أما الفصل الرابع فيتناول موضوع المياه الجوفية الذي عالج المؤلفان فيه أنواع الطبقات الخازنة للمياه الجوفية والينابيع بأنواعها العذبة والمعدنية والحارة وطرق البحث عن المياه الجوفية.

أما الفصل الخامس فعالج موضوع البحيرات والعوامل المحددة لاستمرار وجود المياه في البحيرات ومحددات التوزيع الجغرافي لها. كما تناول هذا الفصل موضوع مياه البحار واخيطات وخصائص مياهها من حيث الملوحة والحرارة والتيارات البحرية.

أما الفصل السادس والأخير فيستعرض تقييماً للموارد المائية السطحية والموارد المائية الجوفية، في العالم العربي والعالم.

وإذ نضع هذا الكتاب بين يدي القارئ، لا ندعي أنه ييز أمثاله أو أنه يحيط بموضوعات جغرافية الموارد المائية أحاطة كاملة شاملة وأنما يغفل جهداً متواضعاً" مؤلفيه، ويمكن أن يفيد الأساتذة الزملاء وطلاب الجغرافية كمرجع جغرافي، وندعو الله أن نكون قد وفقنا في أعداد موضوعاته وعرضها بصورة تلقى قبولاً حسناً وتقديراً من القارئ الكريم.

والله ولي التوفيق.

المؤلفان

عمان / 1998

الفصل الأول

مقدمة:

تعتبر المياه احد العناصر الضرورية للحياة على كوكب الأرض وقد قال الله تعالى "وجعلنا من الماء كل شيء حي" صدق الله العظيم، فاذا اعتبرنا أن الأرض نظام أعلى Super System فان هذا النظام مكون من أربعة أنظمة رئيسية هي النظام الغازي Atmosphere والنظام الصخري Lithosphere والنظام الحيوي Biosphere والنظام المائي Hyolrosphere.

والهيدروlogيا علم واسع يشمل كل المياه في الكرة الأرضية وان مصطلح Hydrology يتكون من مقطعين Hydro وتعني المياه و Logy وتعني علم.

وقد توصلت المنظمات الدولية وخاصة الوكالات التابعة للأمم المتحدة والمتخصصة في مجال المياه الى أن الماء وليس الطاقة هي مشكلة القرن الحادي والعشرين.

وقد عزز هذا الرأي كل من مؤتمر دبلن 1992 ومؤتمر ريودي جانيرو عام 1994، حيث أشارت هذه المؤتمرات بان صحة الإنسان ورفاهه والأمن الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجية، معرضة كلها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي بفعالية تزيد عما كانت عليه في الماضي.

كمية المياه في الطبيعة وكيفية تكوينها :

توجد المياه في الطبيعة في ثلاث حالات هي بخار وسائل وصلب، وتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كما يلي :

1. مساحة البحار والمحيطات تبلغ 361 مليون كم² وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 1370 مليون كم³.
2. مساحة اليابس (القارات) تبلغ 149 مليون كم² وتوجد فيها كمية من المياه تقدر بنحو 84 مليون كم³.
3. مجموع مساحة الكرة الأرضية 510 مليون كم² وفيها كمية من المياه تقدر بنحو 1455 مليون كم³.

وتتوزع الموارد المائية على اليابسة على النحو التالي :

1. مياه المجاري المائية والأودية والمسيلات المائية وفيها كمية من الماء تقدر بنحو 1.2 ألف كم³.
2. المياه الموجودة في البحيرات والمستنقعات تقدر بنحو 230 ألف كم³.
3. المياه الموجودة في الرية بصورة طبيعية وتقدر بنحو 82 ألف كم³.
4. المياه الموجودة في الكائنات الحية وتقدر بألفي كم³.

ويمكن أن تتوزع كميات المياه في الكرة الأرضية كنسب مئوية كما يلي :

1. تحتوي البحار والمحيطات على 97.2 % من مياه الكرة الأرضية.

2. تحتوي الجبال الجليدية والمناطق القطبية على 2.15٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

3. تحتوي الأنهار والبحيرات والينابيع والآبار والمياه الجوفية (وهي المياه العذبة الموجودة في الأرض) على نسبة 0.64٪ من مجموع مياه الكرة الأرضية.

4. يحتوي الغلاف الغازي على 0.01 ٪ من مجموع الماء الموجود في الأرض على شكل بخار وماء.

وهذه الكميات من المياه موجودة أصلاً قبل ظهور أدنى أنواع الحياة على سطح الأرض، بل في الواقع أن بدايات الحياة ظهرت في داخل الماء. وبالأخذ بعين الاعتبار التركيب الكيماوي يمكن القول بأنه في أحد مراحل تشكيل كوكب الأرض تكونت حالة حرجية من الضغط والحرارة، حيث أن كلا الغازين الهيدروجين والأكسجين والموجودين في الغلاف الجوي بكميات كبيرة أصبح عندهما امكانية تشكيل الماء الناتج عن التقاء الضغوط الكهربائية.

لقد تشكلت في البداية كميات من بخار الماء والتي أحاطت قشرة الأرض وكانت واقعة تحت ظروف حرارية عالية. وقد أحدث تكاثف بخار الماء تحت تأثير التبرد المستمر تساقطاً غزيراً من الماء على سطح الأرض، وقد تبخر جزء منها وتجمع بعضها في منخفضات واسعة جداً في القشرة الأرضية، مما أدى الى تجمع الماء وباستمرار حتى تشكلت البحار واخيطات في شكلها البدائي. وتأثرت فيما بعد بالمعادن وبأملاح الصخور التي أذيبت في المياه الجارية وحتى أحواض التجمع (البحار واخيطات). وقد أثرت فيما بعد مرحلة الجليديات التي

عملت على تعديل بعض المساحات المورفولوجية المحتوية على المياه. وقد عدلت الجليديات الحالة الفيزيائية للماء في مناطق واسعة، وفي الوقت الحالي يشكل الجليد والثلج الدائم كمية من المياه مقدارها 24 مليون كم³.

العلوم المائية :

ان الهيدرولوجيا والتي عرفت حديثاً بـ **Physical Hydrology** أو **Global Hydrology** تدرس دورة المياه العامة في الكرة الأرضية والتيارات المائية والأنهار والبحيرات وغيرها. وقد عنيت علوم أخرى بدراسة المياه قبل الهيدرولوجيا في مساحات واسعة من الكوكب الأرضي، وقد وصلت بعض هذه العلوم الآن الى تطور كبير في تحديد مفاهيمها واستنتاجاتها العلمية ومنها :

1. الهيدرولوجي **Hydrology** وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه

السطحية والجاري المائية والبحيرات والمياه الباطنية ذات العمق القليل.

وقد تفرعت من هذا العلم علوم خاصة بكل نوع وهي :

أ. بوتامولوجي **Potamology** وهي العلم الذي يهتم فقط بدراسة

الجاري المائية.

ب. لمنولوجي **Limnology** وهو العلم الذي يهتم بدراسة البحيرات

والمستنقعات.

ج. كريولوجي **Criology** وهو العلم الذي يهتم بدراسة الجليد

والجليديات القطبية.

2. علم البحار والمحيطات **Oceanography** وهو العلم الذي يهتم بدراسة

المياه في البحار والمحيطات.

3. هيدروولوجي Hydrogeology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه الجوفية ولأعماق كبيرة من سطح الأرض.

4. هيدرومتيورولوجي Hydrometeorology وهو علم ملازم لعلوم الأرصاد الجوية Meteorology وهو العلم الذي يهتم بدراسة المياه في الغلاف الغازي.

كل هذه العلوم بدأت تأخذ مكاناً خاصاً لها في الفترة الأخيرة ولكنها لا تستطيع الوصول الى مرحلة الاستقلال التام لأنها مرتبطة دائماً بفروع العلم الأم وهو علم المياه Hydrology. إلا أن هذه العلوم الهيدرولوجية مرتبطة مع علوم أخرى أهمها علم الفيزياء والجيوفيزياء والكيمياء والقوى المائية والجيوولوجيا واقتصاد المياه وكذلك بعض النظريات والتطبيقات الرياضية والاحصائية.

يعالج علم الهيدرولوجي الموضوعات والمشاكل العملية التالية :

- ثبات التوازن الهيدرولوجي من خلال مناقشة الموضوعات الأساسية التالية :
الأمطار التبخر، رطوبة التربة، الجريان والأحواض المائية.
- تحديد معدل كمية المياه الجارية والمارة في مقطع عرضي للمجري المائية.
- تفاوت كمية المياه الجارية في أوقات مختلفة يوماً وشهرياً وسنوياً.
- تحديد الكميات الكبرى للجريان (الفيضان) والكميات الدنيا للجريان (الشح).

- التصريف الصلب وهي المجروفات المنقولة والمزسبة بواسطة المياه.
 - تقدير مستويات الماء في قنوات المجاري المائية.
 - تأثير نشاط الإنسان على نوعية وكمية المياه الطبيعية.
- من هنا يتضح جلياً أن الهيدرولوجيا هو علم يدرس تشكل دورة المياه وتوزيعها والتأثير المتبادل مع البيئة ونشاطات الإنسان المختلفة.

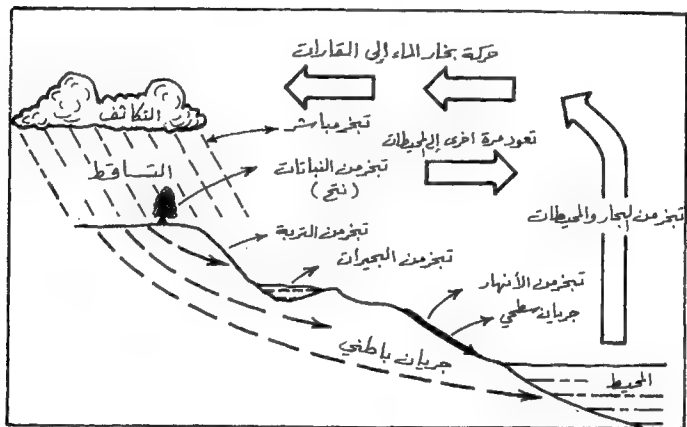
الدورة المائية العامة :

تشارك المياه في الغلاف الغازي وفي البحار واخيطات وكذلك المياه في اليابسة في دورة واحدة تسمى بالدورة المائية العامة.

وقد أثبتت الدراسات الحديثة بأن متوسط كمية المياه التي تتحرك سنوياً بفعل هذه الدورة تصل إلى 520 ألف كم³، وهذه الكمية تمثل نسبة محدودة من مجموع الماء في كوكبنا. وهذه الكمية هي التي تبقى الماء وكذلك تبقى الحياة على الأرض. فالدورة المائية العامة تؤثر بها عوامل مهمة، فالطاقة الشمسية التي تبخر كمية كبيرة من الماء، وكذلك التيارات الهوائية والرياح تنقل كميات كبيرة من بخار الماء، وكذلك الجاذبية الأرضية كلها عوامل تلعب دوراً هاماً في عملية الدورة المائية العامة.

ففي الشكل (1) حيث تسقط الأشعة الشمسية على سطح اخيطات والبحار فتبدأ عملية التبخر من المسطحات المائية، ومن سطح الأرض، فتنتقل بخار الماء الى الغلاف الغازي ثم تتم عملية تكثيف لهذا البخار فيتجمع ليسقط ثانية على هيئة مطر أو ثلج على سطح الأرض واخيطات. وما يسقط على

سطح الأرض يعود ثانية الى المحيطات والبحار بطريق مباشر وغير مباشر، كما أن جزءاً من التساقط يتبخر مباشرة أثناء السقوط الى الغلاف الغازي وهذه العملية مستمرة، وبفضل استمرارية هذه الدورة يمكن القول بأن الماء موجود بشكل أو بآخر لاستعمال الانسان على سطح الأرض وأنه لن ينتهي طامنا استمرت الظروف الطبيعية كما هي.



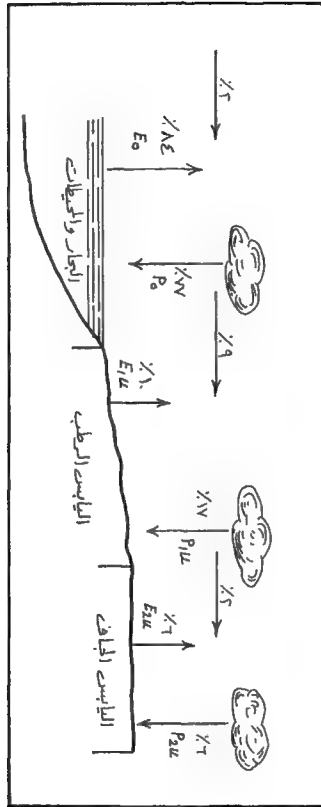
شكل (1) الدورة المائية العامة

ويمكن تقسيم عناصر الدورة المائية العامة بالنسب المتوية كما يلي :

1. التبخر من الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف $E_o = 84\%$.
2. الأمطار في الغلاف المائي ويرمز له بالأحرف $P_o = 77\%$.
3. التبخر من الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف $E_{1u} = 10\%$.
4. الأمطار في الغلاف اليابس / المنطقة الرطبة ويرمز له بالأحرف $P_{1u} = 17\%$.
5. التبخر في الغلاف اليابس / المنطقة الجافة ويرمز له بالأحرف $E_{2u} = 6\%$.
6. الأمطار في الغلاف اليابس / المنطقة الجاف ويرمز له بالأحرف $P_{2u} = 6\%$.
7. بخار الماء المنقول بواسطة التيارات الهوائية من الغلاف المائي (البحار والمحيطات) إلى اليابس $= 9\%$.
8. بخار الماء المنقول من المناطق الرطبة إلى المناطق الجافة $= 2\%$.
9. بخار الماء المنقول من المناطق الجافة إلى البحار والمحيطات $= 2\%$ (الشكل 2)

التوازن الكلي والجزئي في الدورة المائية العامة :

ناقشنا حركة الماء في الدورة المائية العامة في عناصر مختلفة وفي ثلاث مناطق مختلفة هي البحار والمحيطات والمنطقة اليابسة الرطبة والمنطقة اليابسة الجافة، وكل منطقة من هذه المناطق يحدث فيها توازن في كل منطقة على حدة وكلها تمثل توازنا كلياً في الدورة المائية على الكرة الأرضية، اذا اعتبرنا كميات المياه الداخلة والخارجة وعلى مدار السنة فإننا نجد العلاقات التالية :



شكل (2) التوازن الكلي والجزئي للدورة المائية

$$P_0 = E_0 + 2\% - 9\% = E_0 - 7\% \quad -1$$

أي أن كمية الأمطار في البحار والمحيطات تساوي التبخر من الغلاف المائي يضاف إليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح مطروحا منها 9٪ منقولة منها إلى المنطقة اليابسة الجافة.

$$P_{1u} = E_{1u} + 9\% - 2\% = E_{1u} - 7\% \quad -2$$

وهذا يعني أن كمية الأمطار في المنطقة اليابسة الرطبة تساوي كمية التبخر منها مضافا إليها 9٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح القادمة من الغلاف المائي مطروحا منها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح المنقولة إلى اليابس الجاف.

$$P_{2u} = E_{2u} + 2\% - 2\% = E_{2u} \quad -3$$

أي أن كمية بخار الماء من اليابس الجاف مضافا إليها 2٪ من بخار الماء المنقول بواسطة الرياح من اليابس الرطب مطروحا منها كمية بخار الماء المنقول منها 2٪ إلى الغلاف المائي تساوي كمية الأمطار فيها. ويمكن وضعها جميعا في المعادلة التالية:

$$P_0 = P_{1u} + P_{2u} = E_0 + E_{1u} + E_{2u} \quad -4$$

أي أن الأمطار في البحار مضافا إليها الأمطار في اليابس الرطب مضافا إليها الأمطار في اليابس الجاف تساوي كمية التبخر من الغلاف المائي والتبخر من اليابس الرطب والتبخر من اليابس الجاف.

ويمكن اختصار كل المعادلات السابقة في معادلة سهلة جدا وهي:

$$P = E \quad -5$$

أي أن الأمطار = التبخر (شكل 2)

الأحواض المائية للأنهار :

تعتبر الأنهار مصدرا رئيسيا من مصادر المياه العذبة على سطح الأرض، لذلك فإن دراسة الأنهار تحتل مكانة خاصة في علم الهيدرولوجي وذلك لما للأنهار من أهمية في حياة الانسان والنبات والحيوان.

الحوض النهري :

هو تلك المساحة من الأرض التي تفصلها عن الأحواض المجاورة الأخرى خطوط تقسيم للمياه. أو هو مساحة الأرض التي تتجمع منها مياه الأمطار لتجري في مجرى واحد. وقد تتطابق الأحواض النهرية السطحية مع الأحواض المائية الجوفية وقد لا تتطابق، ويعود ذلك الى طبيعة الوضع الجيولوجي والتكتوني في اعماق الحوض النهري.

وعادة ما تشتمل الأحواض النهرية الكبيرة على أحواض مائية ثانوية وهي عبارة عن أحواض رافدة للنهر الرئيسي. فمثلا حوض نهر الأردن يشمل عدة أحواض نهريّة فرعية مثل حوض نهر اليرموك وحوض نهر الزرقاء وحوض نهر بانياس وحوض نهر الدان وحوض نهر الحاصباني وحوض نهر الفارعة، بالإضافة للأحواض الفرعية الأخرى للأودية الموسمية الجريان.

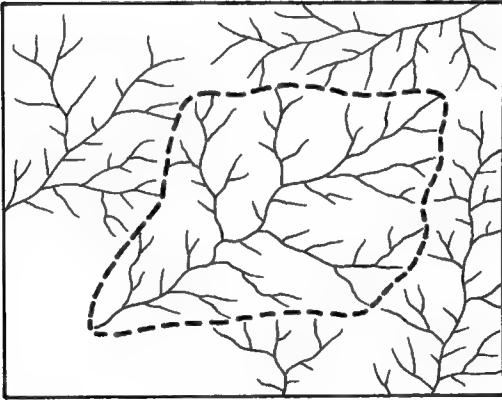
وتقسم الأحواض النهرية الى ما يلي :

1. الأحواض النهرية الكبيرة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على 50 ألف كم².
2. الأحواض النهرية المتوسطة : وهي تلك الأحواض التي تزيد مساحتها على

30 ألف كم².

3. الأحواض النهرية الصغيرة : وهي تلك الأحواض التي تتراوح مساحتها بين 5-30 ألف كم².

ويتم تحديد الحوض النهرى عن طريق تحديد خط تقسيم المياه مع الأحواض النهرية المجاورة (شكل 3). وتحدد مساحة الحوض النهرى بالكم²، ويجب أن تكون له نقاط محددة بالأسماء أو بأرقام الكيلومترات من بداية منبع النهر، ويعطى حرف F تعبيراً عن المساحة ويجب أن نحسب مساحة الحوض النهرى عند أي مقطع كان. وتقاس مساحة الأحواض النهرية عادة بجهاز البلانيمتر Planimetre.



شكل (3) تحديد الحوض النهرى

ويقسم الحوض النهري عادة الى ثلاثة أجزاء هي :

1. الحوض الأعلى. 2. الحوض الأوسط. 3. الحوض الأدنى.

وعادة ما يشتمل الحوض الأعلى على منابع النهر ويشتمل الحوض الأدنى على مصب النهر. الا أننا سنتبع هنا تقسيم الحوض الى الأجزاء التالية:

1. منطقة المنابع :

وهي نقطة البداية للجريان النهري الحقيقي وقد يكون للنهر أكثر من منبع حيث يتشكل النهر هنا من التقاء رافدين أو أكثر. وقد تكون منطقة منبع النهر بحيرة، هنا يمكن رؤية المنبع بوضوح كنهر أنغارا Angara الذي ينبع من بحيرة بايكال Baykal. وقد تكون منطقة المنبع عبارة عن منطقة مستنقعات مثل منابع نهر الفولغا والذي يجمع ينابيعه من مستنقعات فالدايسكي Vaidaysky. وهناك بعض الأنهار تبدأ منابعه من الجبال مثل جبال الألب والهمالايا والقفقاس، كما يمكن أن تكون الجليديات في العروض العليا منابع للأبهار.

2. الحوض الأعلى للنهر :

ويتكون الحوض الأعلى عادة في المنطقة الجبلية للنهر، وتتميز تضاريسه بشدة الانحدار، ويكون التيار المائي سريعاً جداً، وتسود عمليات النحت الرأسى ويتعمق مجرى النهر ليصبح على شكل حرف V ، وتكثر أيضاً المسيلات المائية والجداول والشلالات.

3. الحوض الأوسط :

يصبح مجرى النهر في الحوض الأوسط أكثر اتزاناً وهدوءاً، حيث

تتناقص شدة النحت الرأسي وتصبح متوازنة مع عملية الترسب، ويبدأ النحت الجانبي عند الضفاف، كما تتناقص سرعة التيار المائي وتصبح حولته متوسطة الحجم.

4. الحوض الأدنى :

يزداد تناقص الانحدار في الحوض الأدنى حتى يبدو النهر وكأنه بدون المحدار، ونتيجة لذلك يبدأ النهر بالتعرج راسما اكواعا مختلفة الاحجام، والتي كثيرا ما تؤدي الى وجود أكواع مهجورة أو بحيرات هلالية، ويصل النهر هنا الى حالة الاتزان أو مستوى الاساس فلا يعود النحت الرأسي موجودا، وغالبا ما يعرف الحوض الأدنى للنهر بمنطقة السهل القليل الانحدار.

5. المصب :

بعد أن يصبح مجرى النهر في نهاية الحوض الأدنى فانه قد ينتهي الى البحر او الى البحيرة او الى مستنقع، أو قاع. وعادة ما يكون المصب أكثر وضوحا من المنبع الا أن الأنهار الكبيرة يصعب فيها تحديد مكان المصب وذلك بسبب دلتاواتها الكبيرة المساحة وتفرعات النهر داخل تلك الدلتاوات مثل دلتا نهر النيل والفلوفا والميسيسيبي والدانوب وذلك بسبب كثافة تفرعها، لكن في الغالب تعتبر الفروع الكبيرة هي مصبات الأنهار.

الشبكة المائية :

تمثل أي شبكة مائية لسطح معين نظاما مشعبا من الأودية والمنخفضات الطبيعية والذي يمثل جريان الماء على سطح الأرض سواء كان ذلك الجريان ماء

مطر أو ماء جوفيا باتجاه رئيسي. ولو نظرنا الى الشبكة المائية (اي شبكة مائية) لوجدنا أنها تمثل عروقا كما في عروق ورقة الشجرة أو تمثل نظام الاغصان عند الشبكات، وعادة ما يطلق على النوع من الشبكات بشبكات التصريف ذات النمط الشجري.

ونتيجة تدخل الانسان فان هذه الشبكة الطبيعية يمكن أن يتغير شكلها، فنلاحظ وجود بحيرات تجمع المياه أمام السدود أو نلاحظ قنوات من بناء الانسان لاستعمالها في الري أو في الملاحة، واما بالعكس يمكن ان تتكون مستنقعات مائية تغطي بعض فروع الشبكة.

ان تشكيل الشبكات المائية حدث أصلا في عصور جيولوجية سابقة، عندما تشكلت على الأرض التضاريس اليابسة، فمنذ بداية العصور الجيولوجية وحتى الحقبة الأخيرة من العصر الجيولوجي الرابع Quaternar، لعبت عمليات الرفع والخفض لسطح القشرة الأرضية دورا أساسيا في تشكيل معظم الشبكات المائية الحالية، وتدخلت فيما بعد بعض التغيرات وذلك بفعل تداخل اليابس والماء.

فقد لعبت عمليات التعرية التي قامت بها الأنهار على فترة طويلة من الزمن دورا مهما في الشبكات المائية الحالية، فبعض الشبكات المائية كانت قد شكلت مراوح فيضية كبيرة عملت على تغيير مجراها ومن ثم خلق فروع جديدة في الشبكة المائية.

وتختلف الشبكات المائية في أهميتها، وذلك تبعاً لطول الأودية الرئيسية أو قصرها وكذلك تبعاً لعدد الفروع الأخرى للمجرى الرئيسي أو قلتها.

وتعطى روافد الشبكة المائية رتبا تبعا لأهميتها. وتقسم الرتب النهرية الى ما يلي:

1. ان اصغر رتبة نهري تعطى الرقم 1 (N.1) وهي الأودية الصغيرة التي لا ترتبط بها فروع أصغر منها والتي تقل أطوالها عن 5 كم.

2. الرتبة الثانية تعطى الرقم 2 (N.2) وهي الأودية التي تتكون نتيجة اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الدرجة الأولى. (N.1).

3. المرتبة الثالثة وتعطى الرقم 3 (N.3) ، وهي عبارة عن اتحاد رافدين أو أكثر من روافد الرتبة السابقة 2 (N.2). وهكذا فكلما زادت الرتبة في الشبكة المائية كلما زادت أهمية الشبكة المائية (كما في الشكل 4).



شكل (4) الرتب النهرية

التواء النهر وتفرعه :

تؤثر البنية الجيولوجية للحوض النهري وطبيعة التربة والغطاء النباتي ونظام الجريان في جريان الأنهار، وعليه فإن الأنهار لا تسير عادة بمخطوط مستقيمة، بل انها تنعطف وتلوى مشكلة ما يسمى بالأشكال النهرية البدائية والمتطورة. ويعبر عن تلوي النهر او التواءه بقربه الالتواء، وهي عبارة عن العلاقة القائمة بين طول النهر الحقيقي (L) في منطقة ما وما بين خط مستقيم (I) يمتد عبر هذه المنطقة.

ويمكن حساب قرينة الالتواء كما يلي :

$$K = \frac{L}{I}$$

حيث أن:

L = طول النهر الحقيقي مع كل تعرجاته.

I = طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع وحتى المصب.

أما بالنسبة لقرينة التفرع أو درجة التفرع فيمكن حسابها من خلال قياس طول كل التفرعات الثانوية مضافا إليها طول النهر الأساسي ثم تقسم هذه على طول النهر الرئيسي، وعليه يمكن حساب درجة التفرع كما في المعادلة التالية :

$$K = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n + I}{L}$$

حيث أن:

$$L1 = \text{طول روافد الدرجة الاولى}$$

$$L2 = \text{طول روافد الدرجة الثانية}$$

$$Ln = \text{طول روافد الدرجات الاخرى}$$

$$I = \text{طول الخط المستقيم الذي يمتد من المنبع حتى المصب}$$

$$L = \text{طول النهر الرئيسي بكل تعرجاته}$$

كثافة الشبكة المائية :

هناك عدة طرق لقياس كثافة الشبكة المائية ومن أهمها وأكثرها استعمالاً، تلك الطريقة التي تأخذ بعين الاعتبار مساحة الحوض النهري المراد معرفة كثافة شبكته المائية، ثم يحسب طول المجاري النهرية الموجودة ضمن هذه المساحة فيقسم طول الأنهار على المساحة وذلك حسب المعادلة التالية :

$$N = \frac{L}{A} = k/k^2$$

حيث أن:

$$L = \text{مجموع طول الروافد.}$$

$$A = \text{مساحة الحوض النهري / كم}^2$$

التكرار النهري :

وتتمثل العلاقة هنا بعدد المجاري المائية بجميع رتبها ضمن حوض نهري معين مقسومة على مساحة ذلك الحوض بالكم² وذلك حسب المعادلة التالية :

$$Fr = \frac{N}{A}$$

حيث أن:

$$Fr = \text{التكرار النهري}$$

$$N = \text{عدد المجاري المائية بجميع رتبها}$$

$$A = \text{مساحة الحوض النهري / كم}^2$$

نسبة التشعب النهري :

ويحسب التشعب النهري بنسبة عدد الأنهار من رتبة معينة الى عدد الأنهار من الرتبة التي تليها وذلك حسب المعادلة التالية :

$$P = \frac{N1}{N2}$$

حيث أن:

$$P = \text{نسبة التشعب النهري.}$$

$$N1 = \text{عدد المجاري المائية من رتبة 1.}$$

$$N2 = \text{عدد المجاري المائية من رتبة 2.}$$

وهناك عدة علاقات أخرى تتعلق بالأحواض النهرية منها :

نسبة التضرس : وتعني الفرق بين أعلى وأخفض نقطة في الحوض النهري بالمتر مقسوما على طول الحوض النهري / كم وذلك حسب المعادلة التالية :

$$R = \frac{R1 - 2}{L}$$

حيث أن:

R = نسبة التضرس

$R1$ = أعلى نقطة في الحوض النهري عن مستوى سطح البحر.

$R2$ = أخفض نقطة في الحوض النهري بالنسبة لمستوى البحر.

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

معامل شكل الحوض النهري : وهو عبارة عن قسمة مساحة الحوض / كم² على مربع طول الحوض / كم، كما في المعادلة التالية:

$$F0 = \frac{A}{L}$$

حيث أن:

$F0$ = معامل شكل الحوض.

A = مساحة الحوض / كم².

L = أقصى طول للحوض النهري / كم.

تغذية الأنهار:

يعتبر التساقط بأشكاله المورد الأساسي لتغذية الأنهار، حيث تؤدي الأمطار والثلوج إلى عملية الجريان على سطح الأرض، أما المصادر الأخرى فهي الغطاء الجليدي والمياه الجوفية. وتختلف نسبة هذه المصادر بين منطقة

وأخرى ومن نهر لآخر ومن فصل لآخر، وتعتمد نسبة هذه المصادر على عدة ظروف طبيعية منها : الظروف المناخية، حيث تزداد تغذية الأنهار بالمياه في المناطق التي تزداد فيها كميات الأمطار وتساقط الثلوج مثل المناطق الباردة والمناطق المعتدلة الرطبة والمناطق الجبلية والمناطق الاستوائية، حيث تتميز تلك المناطق بكثرة التساقط فيها طوال العام.

ويمكننا تمييز الأنواع التالية لتغذية الأنهار :

1. التغذية المطرية :

بعد هطول الأمطار على الأرض تبدأ الرربة بالتشبع بالمياه وبعد أن تصبح الرربة في حالة الاشباع، يبدأ الماء بالجريان على سطح الرربة ليشكل مسيلات مائية لا تلبث أن تلتقي مشكلة جداول فائدية ثم تنتهي في مجاري مائية أكبر حتى يصل حجمها الى حجم الأنهار الكبيرة.

وتكون التغذية المطرية إما موسمية، فيزداد تصريف الأنهار وتصل ذروتها في فصل الصيف، وإما ان تكون التغذية المطرية أكثر انتظاما كما هو الحال في المناطق الاستوائية، وإما ان تكون التغذية المطرية غزيرة في فصل الأمطار وذوبان الثلوج كما هو الحال في العروض الوسطى البحرية، أما التغذية الصحراوية وبالرغم من شحها إلا أنها قد تؤدي الى حدوث سيول جارفة وفجائية.

2. التغذية الثلجية :

يظهر أثر التغذية الثلجية بشكل واضح في العروض الوسطى والعلية وفي المناطق الجبلية العالية ؛ حيث يحدث ذوبان الثلوج في فصل الربيع وأوائل الصيف. وتكون فترة ذوبان الثلوج بين 30-90 يوما في العروض الباردة

والموسم الا انها تغذي الأنهار بمياه تعادل 50-80 ٪ من مجموع تغذيتها السنوية.

3. التغذية الجمودية :

تظهر آثار التغذية الجمودية واضحة في فصل الصيف وذلك في الأحواض العليا من الأنهار والتي تبدأ منابعها من الجبال المرتفعة. حيث تأخذ الجموديات بالدوران مما يؤدي الى زيادة تصريف الأنهار وارتفاع مستواها وحدوث الفيضانات. وتحدث هذه التغذية في الجبال العالية الغنية بالجموديات مثل جبال القفقاس والهيمالايا والألب والباير.

4. التغذية المختلطة :

وهي أكثر أنواع التغذية شيوعا، حيث تشارك جميع أنواع التغذية تزويد الأنهار بالمياه. وينطبق هذا على الأنهار الكبيرة التي تبدأ من الجبال العالية قاطعة أقدام الجبال والهضاب والسهول حتى تصل الى مصباتها.

5. التغذية الاصطناعية :

وتتم هذه التغذية عن طريق الانسان الذي يعمل على تحويل جزء من مياه النهر الى نهر آخر لأي غرض من الأغراض سواء كان ذلك من أجل الري أو الشرب أو الملاحة النهرية واقامة السدود.

6. تغذية الأنهار بواسطة البحيرات والمستنقعات :

تشارك المستنقعات بتغذية الأنهار خاصة تلك التي تتميز بغناها المائي مثل منابع نهر الفولغا. وقد تكون البحيرات مصدرا أساسيا لتغذية الأنهار كما

هو الحال في البحيرات الكبرى الافريقية الاستوائية التي تغذي نهر النيل وبحيرة بايكال التي تغذي نهر انغارا.

7. تغذية الأنهار بواسطة المياه الجوفية :

تعتبر المياه الجوفية مصدرا مهما ودائما لتغذية الأنهار بالمياه حيث تعتمد التغذية الجوفية على مستوى الماء الجوفي، اذ تزداد التغذية بارتفاع مستوى الماء الجوفي وتقل التغذية بانخفاضه، وساهم الماء الجوفي في استمرار الجريان. ويدعى التصريف المائي الذي يعتمد على الماء الجوفي بتصريف الأساس Base flow.

وبناء على ذلك يمكن تقسيم الأنهار حسب مصادر تغذيتها الى ما يلي:

1. النوع الأول "A" وهي الأنهار التي تكون مصدر تغذيتها الرئيسية ذوبان الثلوج في السهول والمرتفعات حتى 1000 متر فوق مستوى سطح البحر. ويمثل ذلك في أنهار سيبيريا وشمال أمريكا الشمالية .

2. النوع الثاني "B" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من ذوبان الثلوج الساقطة على المرتفعات العالية، وهذا نوع نادر ويمثل في أنهار آسيا الوسطى.

3. النوع الثالث "C" وهي الأنهار التي يكون مصدر تغذيتها الرئيسي من الأمطار الصيفية، ولهذا نجد أن قمة التصريف المائي هي في فترة الصيف، وينطبق هذا على الأنهار التي تتغذى من الأمطار الموسمية والمدارية مثل النهر الكونغو والاورينكو.

4. النوع الرابع "D" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من ذوبان الثلوج خلال فصل الربيع أو بداية فصل الصيف، بالإضافة الى مياه الأمطار، وينتشر هذا النوع في المناطق التي تتميز بشتاء بارد ومثلج، وهنا نلاحظ حدوث الفيضانات الربيعية. لأن قمة التصريف تكون في فصل الربيع، وتنخفض نسبة التصريف في أواخر فصل الصيف والخريف. مثل أنهار السويد وألمانيا وشمال الولايات المتحدة الأمريكية والسهل الروسي ودجلة والفرات.

5. النوع الخامس "E" وهي الأنهار التي تتغذى بصورة رئيسية من مياه الأنهار التي تسقط خلال الأشهر الباردة وأشهر الصيف، ولكن تزيد نسبة التصريف الشتوي عن التصريف الصيفي، مثل أنهار وسط وغرب أوروبا وعيها نهرى السين والتايمز.

6. النوع السادس "F" وهي الأنهار التي تتغذى على مياه الأمطار الشتوية والصيفية والتي تتميز بغزارتها خلال الفصل البارد بالمقارنة مع كمياتها في فصل الصيف. ويمثل هذا النوع أنهار جنوب أوروبا وشمال أفريقيا ومنطقة كاليفورنيا ومنطقة تشيلي وجنوب اسراليا.

7. النوع السابع "G" ويمثل هذا النوع انعدام الجريان في الأودية وذلك نتيجة جفاف المناخ ومنها أودية صحراء الجزيرة العربية وبادية الشام والصحراء الكبرى الافريقية وصحراء قرة قوم وقزل قوم في آسيا الوسطى.

السريـر النهرى : River bed

تعني كلمة سريـر نهرى المنطقة السفلى للوادي المغطاة بشكل دائم أو مؤقت بالماء، والتي تقع على تركيب جيولوجي صلب. ويتحكم شكل التيار المائي بالسريـر النهرى ويحدد اتجاه جريان الماء. والتيار المائي هو الذي يشق طريقه بنفسه وهو الذي يطوع المنحدر حسب قوانين حركته، وتحدد العوامل الهيدرولوجرافية للسريـر النهرى للمقطع العرضي للسريـر النهرى من خلال المقطع العرضي، والمقطع الطولي والشكل الأفقي. ومن ناحية حركة الماء والتيارات المائية فإن تخرج جوانب الأنهار والتوائها هي من العناصر الهيدروليكية التي تكمل صفات السريـر النهرى الطبيعية.

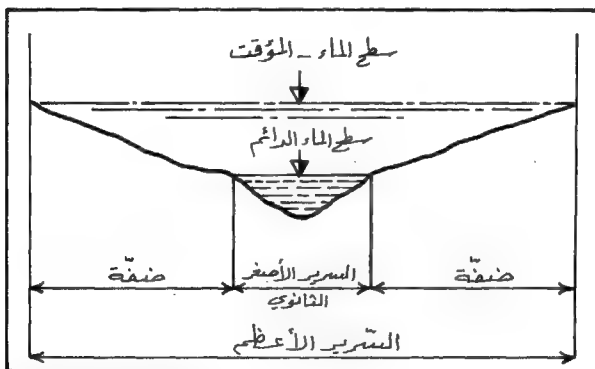
المقطع العرضي للسريـر النهرى :

يتغير شكل المقطع العرضي للسريـر النهرى، ففي حين يكون شكل المقطع العرضي للسريـر النهرى مستطيل rectangle، يمكن أن يكون المقطع على شكل معين Trapezium أو يأخذ شكل القطع المكافئ Parabola، أو من اشراك هذه الأشكال مع بعضها.

بشكل عام فإن المقطع غالبا ما يكون غير منتظم لأنه يتكون من جهة عميقة وتسمى بالسريـر الثانوي Minor ومناطق جانبية تغطيها المياه فقط في فترات معينة من السنة. وتسمى المناطق الجانبية الكبيرة الاتساع بجوانب النهر، وتكون جوانب النهر واسعة بقدر ما يكون التصريف المائي كبيرا. ويحدد السريـر الأصغر للنهر الدائم الجريان بالقناة التي تغطيها المياه بشكل دائم طوال

العام، اما السرير الاعظم للمجرى النهري فهو القناة التي تغطيها المياه بشكل مؤقت (في أوقات الفيضان). ويعتمد ذلك على التركيب الجيولوجي. ولذلك فان شكلها يختلف من القائم وحتى المائل بدرجة 1: 5.

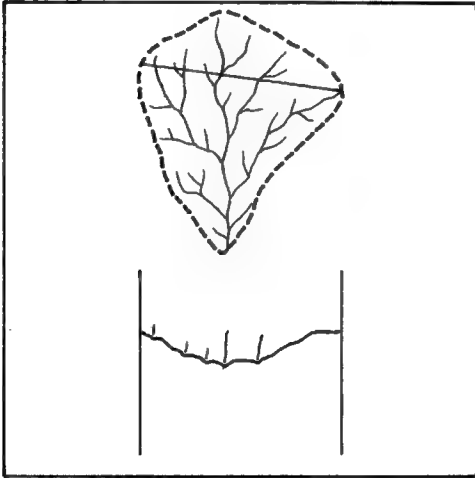
هناك عوامل أخرى تؤثر على السرير النهري الصغير، وهي الطمي الذي يؤدي الى ارتفاع قاع السرير أو قلة عمق السرير النهري. والانجراف الذي يؤدي الى زيادة عمق السرير النهري الأصغر، كما يزداد اتساع السرير النهري بشكل كبير أو صغير بسبب كثرة أو قلة حدوث الفيضان (شكل 5).



شكل (5) المقطع العرضي للسرير النهري

المقطع العرضي للحوض النهري :

يتكون المقطع العرضي للحوض النهري من خط يصل بين نقطتين تقعان على طرفي الحوض النهري أو على أقصى نقطتين تقعان على خط تقسيم المياه للحوض النهري (شكل 6).



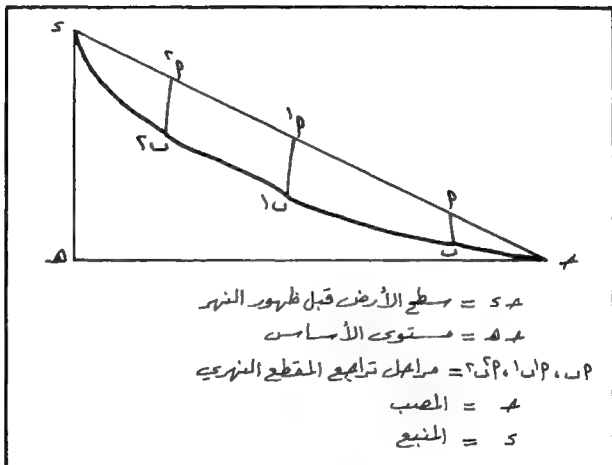
شكل (6) المقطع العرضي للحوض النهري

ويمكننا رسم ثلاث مقاطع عرضية للحوض النهري الأول يمثل المقطع العرضي للحوض الأعلى، والثاني يمثل المقطع العرضي للحوض الأوسط، والثالث يمثل الحوض الأدنى للحوض النهري.

ويمكننا أن نرسم عددا كبيرا من المقاطع العرضية للحوض النهري، كما يمكن أن نرسم مقاطع عرضية فرعية لروافد الشبكة المائية اما منفصلة واما ضمن المقطع العرضي الكبير.

المقطع الطولي للنهر :

يعتمد المقطع الطولي للنهر على طبيعة الصخور التي تحفر فيها الأنهار مجراها وانحدار السفح الذي تجري عليه المياه، كما تلعب غزارة التصريف المائي للنهر دورا هاما في تشكيل المقطع الطولي للنهر. وتعمل مياه الأنهار أثناء جريانها على نحت المناطق المرتفعة من الحوض وخاصة عملية الحت الصاعدة. وتستمر هذه العملية حتى يتحقق التوازن ما بين قوة الحفر والحت الرأسى وعمليات الترسيب، ويبدأ النهر في نحت مقطعه الطولي ابتداء من المصب وهو مستوى الأساس للنهر ثم يتابع النحت تراجعاً نحو الأعلى بعيداً عن المصب، وهذا يعني أن عملية النحت تسير باتجاه معاكس لجريان المياه في النهر (شكل 7).



شكل (7) تراجع المقطع الطولي للنهر

ويلاحظ من الشكل أن مقطع الاتزان النهري الطولي يبدأ من نقطة (د) عند المصب أو مستوى الأساس، ثم يبدأ بالارتفاع نحو الأعلى ويتقدم مستوى الأساس بالتدرج الى (ب) ثم الى (ب1) ثم الى (ب2). ويتناقص انحدار المقطع الطولي كلما تقدمنا نحو المصب كما في الشكل السابق.

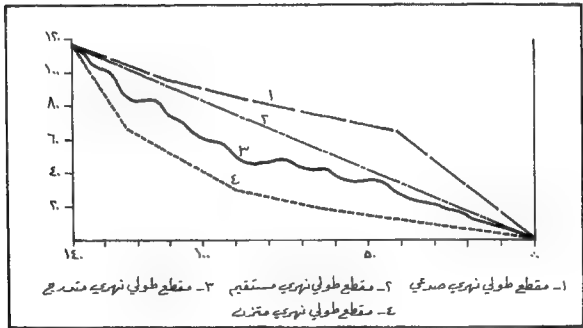
وسبب ذلك هو اقتراب المقطع الطولي للنهر من شكل مقطع الاتزان. ويقسم المقطع الطولي للمجرى النهري الى ثلاثة أقسام هي :

1. المجرى الأعلى وتزداد فيه شدة الحث.
2. المجرى الأوسط وتتم فيه عمليات الحث والرسب معا.
3. المجرى الأدنى وتسيطر فيه عمليات الارساب.

نتيجة اختلاف الظروف الطبيعية في مختلف أنحاء العالم فاننا نجد تنوعا في المقاطع الطولية للأنهار على النحو التالي :

1. مقطع الاتزان الطولي: وهو أكثر المقاطع الطولية انتشارا على سطح الأرض، ويعتبر المقطع المثالي للأنهار لأنه يمثل المقاطع الطولية للأنهار في مرحلة الشيخوخة (الشكل 8).
2. المقطع الطولي المباشر : وهو نوع نادر من المقاطع الطولية للأنهار ويوجد فقط في المناطق السهلية وتكون عادة أنهارا صغيرة. (شكل 8).
3. المقطع الطولي الصدعي : وهو نوع قليل الانتشار، ويحدث فقط في الأنهار الصغيرة ويكون انحدار المقطع قليلا في المجرى الأعلى وشديدا في المجرى الأسفل من المجرى النهري. (شكل 8).

4. المقطع المتدرج : يتكون هذا المقطع الطولي بسبب وجود طبقات صخرية متفاوتة الصلابة على طول مجرى النهر، أو بسبب وجود منخفضات بحيرية ضمن المجرى كما في الشكل 8.



شكل (8) المقاطع الطولية لتطور النهر

الفصل الثاني

التساقط Precipitation

التساقط هو مصدر جميع المياه العذبة على سطح الأرض، سواء أكان هذا التساقط على شكل أمطار أو برد أو ثلج، ويمكن القول أيضا بأن كل أنواع الجريان السطحي ناجمة بشكل مباشر أو غير مباشر عن التساقط. لذلك تعد دراسة التساقط أساس الدراسات الهيدرولوجية رغم أنها من صلب تخصص علماء المتورولوجيا والمناخ. وسنعالج في هذا الفصل القضايا التي لها صلة مباشرة بالهيدرولوجيا باعتبار أن القارب له إلمام مسبق بالمفاهيم المناخية والهيدرولوجية المتعلقة بالتساقط.

ومن الجدير ذكره بأن كمية الرطوبة الموجودة في الغلاف الجوي تساوي فقط 0.001% من مجمل المياه الداخلة في دورة الغلاف المائي، وأن هذه الكمية المتواضعة نسبيا يعود إليها جميع أنواع التساقط على سطح الأرض. ويقدر بعض العلماء بأنه لو أتيح لجميع بخار الماء الموجود في الجو أن يسقط على شكل أمطار في نفس الوقت، فإن معدل التساقط على جميع أنحاء الأرض يصل إلى (25) ملم تقريبا.

ويتميز أشكال التساقط بالتباين الزمني والمكاني، وتعد دراسة هذا التباين إحدى اهتمامات علماء الهيدرولوجيا. حيث يهتم الهيدرولوجي بمعرفة

متى تسقط الأمطار وما كميتها وكيف تتوزع، وكيف نقيس كميتها، وكيف يتم تحليل هذه الاختلافات.

أنواع التساقط : Types of Precipitation

يمكن أن نصف أنواع التساقط بناء على أساس شكل التساقط أو بناء على أصل هذا التساقط.

أولا : تصنيف التساقط بناء على أشكاله :

فمن التساقط ما يكون بحالة السيولة ومنها ما يكون صلبا. فالمطر rain والرذاذ drizzle والندى dew تدخل مباشرة بدورة الماء بينما يؤجل دخول الأشكال الصلبة مثل الثلج snow والصقيع Frost والجليد glaze بدورة الماء حتى تصبح درجة الحرارة مناسبة لذلك. أما البرد فزعم صلابته إلا أن ظروف تشكله تجعله يدخل مباشرة بالدورة كما هو الحال بزخات المطر الغزيرة.

ثانيا : تصنيف التساقط بناء على أصولها :

حتى يتم التساقط يجب تضافر عاملين رئيسيين هما : توفر كمية مناسبة من الرطوبة وتوفر ظروف مناسبة ترفع الكتل الهوائية التي تحمل تلك الكميات من الرطوبة إلى أعلى بقدر يكفي لتكاثف بخار الماء الموجود ومن ثم حدوث التساقط أن وجود الرطوبة في الهواء الموجود فوق اليابسة يعود إلى تحرك الهواء بموازاة سطح الأرض لعدة مئات من الكيلومترات أو مرورها فوق مسطحات مائية شاسعة كالبهار والمحيطات، وقد ترتفع الكتل الهوائية بفعل اصطدامها بعوائق طبغرافية أو بواسطة اصطدامها بكتل أبرد منها، أو يكون صعودها ناجم

عن عملية التسخين كما هو الحال بالأمطار الانقلابية. وليس من المفروض أن يحصل التساقط من أحد هذه الأنواع بمعزل عن الآخر، فقد تتضافر عملية التصعيد الناجمة عن التضاريس مع عملية التصعيد الناجمة عن التقاء كتل هوائية متباينة الحرارة.

تباين التساقط Variations of Precipitation

من الأمور الرئيسية التي يهتم بها علماء الهيدرولوجيا تباين التساقط مكانيا وتباينه زمانيا. بحيث يندر أن يتساوى موقعين بمقدار الأمطار التي تسقط عليها بنفس الوقت، كما يندر أن يتساوى التساقط بموقع معين بنفس الوقت وبنفس الموعد خلال سنوات مختلفة. فمن النادر على سبيل المثال أن تتساوى كمية التساقط على محطة مطار عمان المدني الساعة الواحدة ظهرا في اليوم الثالث من كانون أول عام 1991 مع نفس الكمية التي يمكن أن تسقط بنفس الموعد عام 1992.

فمعدل سقوط الأمطار السنوي الافتراضي على مختلف بقاع الأرض يصل الى 700 ملم (280 بوصة) تقريبا، ولكن في حقيقة الأمر قد تمضي عدة سنوات دون أن تهطل أمطار تذكر على بعض المناطق الصحراوية، في حين يزيد معدل التساقط السنوي في بعض المناطق عن 1000 ملم كما في جبل Waialeale بجزر هاواي التي يصل معدل التساقط السنوي فيها الى 1200 ملم (480 بوصة).

ويعتمد تباين التساقط مكانيا على معدلات التبخر وعلى نمط مسار الكتل الهوائية. حيث يتخذ نمط توزع الأمطار على سطح الكرة الأرضية أنماطا شريطية عرضية. ونظرا لكون البحار والمحيطات هي المصدر الرئيسي للبخار

الموجود في الجو، فإن المناطق البعيدة عن الساحل تتصف بقلّة التساقط مقارنة بالمناطق المناظرة لها على السواحل، وتلعب الرياح الدائمة دورا معدلا، يحد من أثر البعد عن السواحل في تقليل الأمطار، بحيث يتعدى تأثير البحار والمحيطات في التساقط المناطق الساحلية لها، ويمكن أن ينسحب هذا القول على الرياح العكسية التي تهب على إقليم السواحل "الغربية" في أوروبا، حيث يتعدى تأثيرها المناطق الساحلية لقارة أوروبا.

ويغلب على التساقط في مختلف رقاع المعمورة النمط الفصلي، بحيث ينتظم التساقط وفق أنماط فصلية يمكن التكهّن بوقت حدوثه وبكميته وفق بيانات تدل على كميات التساقط في سنوات سالفة، ويهتم الهيدرولوجي بهذا الأمر اهتماما كبيرا وذلك لرسم السياسات المائية التي تملئها ظروف التساقط. ويمكن دراسة التباين الزمني للتساقط وفق المفاهيم التالية :

1. التباينات الدورية Cyclic Variations

جرت العديد من المحاولات للكشف عن امكانية وجود دورات منتظمة للتساقط من خلال دراد كميات التساقط السنوية. وتعتبر مثل هذه القضايا ضرورية جدا في مجال الدراسات البيئية وبخاصة الفيضانات، ولتحديد مقدار المياه التي يمكن أن تكون متوفرة في سنة ما، ويمكن أن تفيد أيضا في تحديد أماكن إقامة المنشآت والمساكن قرب مجاري الأودية والأنهار الرئيسية، وتتطلب مثل تلك الدراسات معلومات دقيقة ولفترة طويلة يفضل أن لا تقل عن 30 سنة متواصلة. وقد تمت ملاحظة عدة دورات تتباين في مدتها، فمنها ما يصل طولها عشر سنوات ومنها ما يصل الى 35 سنة.

2. التغيرات الطويلة المدى : Secular Variations

لم يوفق العلماء في تحديد دورة ثابتة للتساقط. ولكن بعض الدراسات الحديثة استطاعت التوصل الى قناعة بأن تباين التساقط يرجع سببه مباشرة الى تضافر بعض العوامل الجغرافية مع بعض العوامل المناخية. حيث اتضح أن هناك دورة عامة شبه منتظمة للدورة العامة للغلاف الجوي تنعكس بالتأكيد على نطاق التساقط العالمي.

3. التباينات الفصلية Seasonal Variations

يظهر النمط العام لنظام التساقط في معظم مناطق العالم، نمطا شبه ثابت، بحيث تساقط الأمطار في موسم ما وتُحجب عن التساقط في موسم آخر. وقد درج على تسمية هذه المواسم بالفصول. وتتأثر هذه الفصلية بنظام الغلاف الجوي الذي يتأثر كثيرا بالحركة الكونية للنظام الشمسي وبخاصة علاقة الأرض بالشمس.

التباينات اليومية : Diurnal Variations

تحدث بعض التباينات اليومية لتساقط الأمطار في بقاع محددة من سطح الأرض. وتعود هذه الاختلافات الى اختلاف درجة الحرارة بين ساعات النهار، والتي تعد الأساس في حدوث الأمطار الانقلابية وبخاصة في المنطقة الاستوائية. حيث تسقط الأمطار الرعدية يوميا بعد الظهر او مع بدايات المساء.

وبشكل عام نستطيع القول بأن امكانية نجاح توقعنا لتحديد كمية الأمطار المتساقطة تزداد في حالتين هما :

1. عند زيادة الفترة الزمنية. أي أن توقعنا لكمية التساقط للسنة يكون أفضل من توقعنا للتساقط على مستوى الفصل والشهر، كما أن توقعنا لكمية التساقط في شهر تفوق ذلك التوقع ليوم وهكذا.
2. في المناطق ذات الأمطار الوفيرة يكون التباين قليلا من سنة الى أخرى ومن فصل الى آخر بينما يكون ذلك التباين أكبر في المناطق التي لا تتمتع بتساقط وفير.

كثافة الأمطار : Rainfall Intensity

من الأمور التي تهتم علماء الهيدرولوجيا كثافة التساقط على مستوى العاصفة المطرية، ومدى استمرارية كثافة التساقط ضمن نفس العاصفة. حيث يتأثر الجريان السطحي وبخاصة تحديد ذروة الجريان النهري بتحديد كثافة التساقط، وديمومته. وكلما قلت الفترة الزمنية التي يحدد خلالها كثافة التساقط يكون أفضل. الفلوعرفنا كثافة التساقط لكل ساعة أو أجزاء الساعة خلال العاصفة المطرية أفضل من معرفتنا بتلك الكثافة خلال العاصفة بشكل عام أو خلال يوم واحد منها. ويعبر عن هذا الأمر عادة بما يسمى بمنحنى كثافة التساقط $Intensity - duration curve$ وقد نعبر عن ذلك بطريقة أخرى بما يسمى بـ $depth - duration curve$ ، ويحدد فيها نسبة التساقط في ساعة ما خلال العاصفة الى مجموع التساقط الناجم عن نفس العاصفة. ويمكن استخدام منحنيات أخرى لتعبر عن كثافة التساقط مثل $rainfall intensity frequency graph$ حيث تبين هذه المنحنيات نسبة تكرار كثافة التساقط لخطوة ما ولعاصفة معينة.

قياس التساقط : Measurement of precipitation

الفكرة الرئيسية من خلال قياس كميات التساقط هو للتعبير عن سمك المياه التي تغلف المنطقة بفعل العاصفة المطرية. ويعد التساقط أول عناصر الطقس التي تولاهما المهتمون بالقياس. ويقدر البعض بأن بداية قياس الأمطار كانت في القرن الرابع الميلادي في شبه القارة الهندية. ولكن القياس الحقيقي المؤكد للأمطار عرف منذ عام 1639 في إيطاليا، وفي بريطانيا بدأ القياس عام 1677.

أنواع مقاييس التساقط Types of raingauge

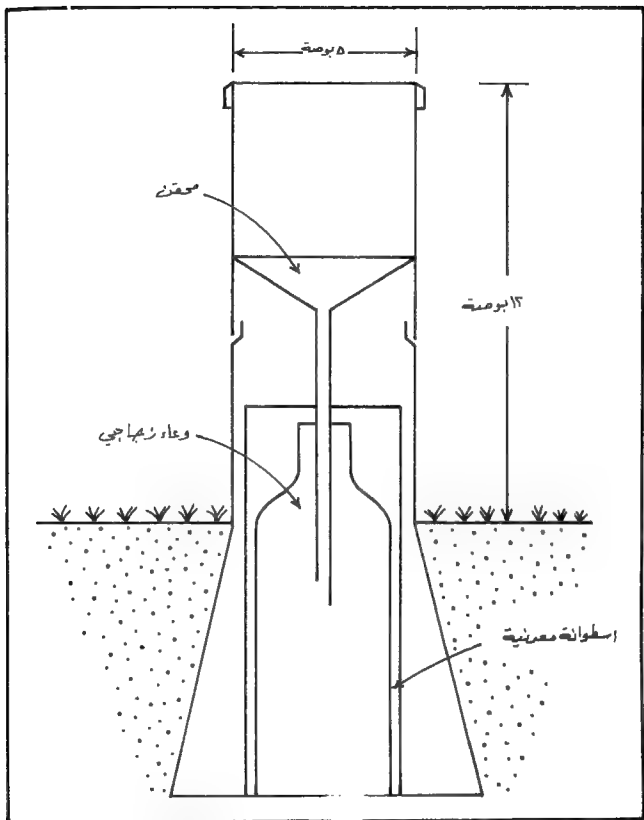
تصنف مقاييس الأمطار ضمن مجموعتين رئيسيتين هما :

1. مقياس التساقط غير المسجل / العادي : Non-recording gauges

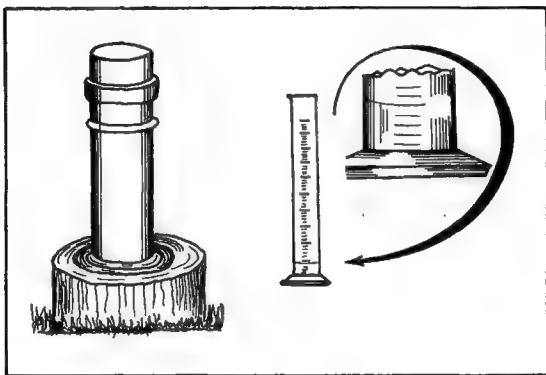
وهو عبارة عن جهاز بسيط، يتكون من اسطوانة بلاستيكية او معدنية طولها 580 ملم وقطر فوهتها 200 ملم، وترتبط الفوهة بقمع يوصل الأمطار الى اسطوانة داخلية قطرها 20 ملم تكون غالبا مدرجة تزدل على كمية الأمطار الساقطة في المنطقة. وقد لا تكون مدرجة، بحيث يتم قياس الكمية بواسطة المخبر المدرج، ويتميز هذا النوع ببساطته، ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن كثافة الأمطار (الغزارة) أو ديمومتها ولا يعطي فكرة تامة عن المسار العام للتساقط خلال فترة زمنية محدودة. الا انه يمكن قياس كمية الأمطار المتجمعة به في أي وقت يشاء الراصد ذلك (شكل 9-أ).

ويتفاوت شكل المقياس من دولة الى أخرى. فهناك النموذج البريطاني

(Mark II) (شكل 9-ب). والنموذج الكندي (شكل 10).



شكل (9) جهاز قياس القعر (5 بوصة) النموذج البريطاني

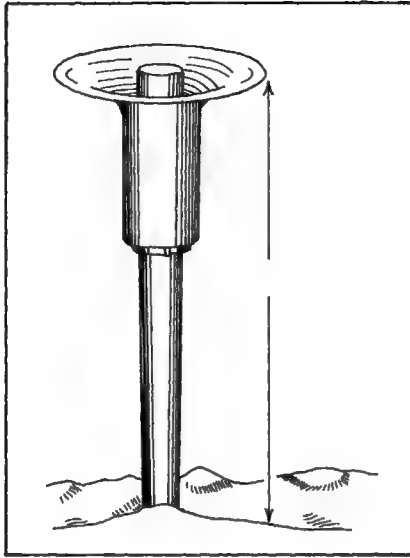


شكل (10) النموذج الكندي لقياس الأمطار

وجميعها تتبع نفس الأساس. حيث تغلف الاسطوانات المعدنية او البلاستيكية اسطوانة أخرى مدرجة مصنوعة من الزجاج أو البلاستيك. ولكن هناك اختلاف في كيفية تثبيت هذه الأجهزة على الأرض. فبعضها تدفن قاعدته في الأرض، والآخر يرتفع على قائم، وبعضها كالنموذج الكندي يستند على قاعدة ترتفع عن الأرض كما هو واضح في الشكل (10).

ولزيادة كفاءة هذه المقاييس وبخاصة في المناطق النائية، فإن الاسطوانة الداخلية تكون من الكبر بحيث تكفي لتساقط كمية كبيرة من الأمطار، ويضيف الراصد أحيانا بعض الزيوت على الاسطوانة الداخلية في المقاييس التي تقع في مناطق نائية، ويعتذر قياسها يوميا، وذلك لخفض كمية التبخر من الكميات التي استقرت داخل ذلك الأنبوب، وتسمى هذه الأجهزة .Storage or totlizer Gauges

توجد مقاييس مخصصة لتقدير كمية الأمطار الناجمة عن تساقط الثلج. وتشبه الى حد بعيد تلك المقاييس سالفة الذكر، الا انها لا تحتوي على قمع، بحيث تهوي الثلوج من الفوهة الى القاع ثم تذيب بعد حين، وتثبت هذه المقاييس على قائم قابل لرفعه أو تنزيله وذلك حسب تراكم الثلوج (شكل 11). ويتبع الراصدين الجويين في كندا لتقدير كمية التساقط بفعل الثلوج من خلال قياس سمك الثلوج بواسطة المسطرة، بحيث يقسم السمك على 10، ويكون الناتج هو كمية الأمطار الساقطة وقد لا تعد هذه الطريقة فعالة في جميع الحالات بسبب تفاوت هشاشة الثلج من مكان الى آخر ومن وقت الى آخر.

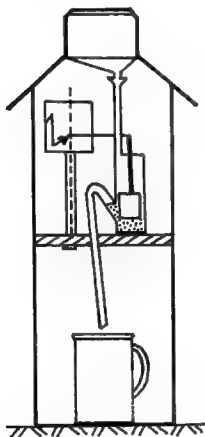


شكل (11) جهاز لقياس الثلج

2. أجهزة قياس المطر الآلية : Recording precipitation Gauges

رغم تعدد المقاييس الآلية وتنوعها إلا أنها تقوم على أسس واحدة. فمنها ما يعبر عن كمية التساقط باختلاف الوزن، الذي يدل عليه مؤشر خاص يسجل ذلك على ورقة رسم بياني ملفوفة حول اسطوانة تدور باستمرار. وقد تغير هذه الورقة يوميا أو أسبوعيا وقد يصل الأمر إلى شهر، بحيث أن كمية المياه الداخلة في الجهاز يمكن صرفها أو جمعها بوعاء كبير، قد يستفاد منها لأغراض

خاصة. وبعضها يعبر عن كمية التساقط بارتفاع وانخفاض عوامة تطفو فوق المياه التي تتجمع داخل مستودع محدود السعة Float - type Gauges، يمكنه التخلص من الكميات الزائدة، أما بصرفها خارج الجهاز أو جمعها أيضا بمستودع أكبر. وترتبط العوامة بمؤشر، يحدد مسار تساقط الأمطار على ورقة رسم بيانية كما هو الحال في الجهاز السابق. وتعتمد بعض دوائر الأرصاد الجوية مقياس المطر ذو الدلاء Tipping buckets Gauge، الذي يتكون من دلوين صغيرين يتسع الواحد منهما لـ 0.25 ملم من الأمطار. وكلما امتلأ دلو يبدأ الآخر بالامتلاء، بعد أن يبدأ الأول بتفريغ ما يحوزته، ويوجد مؤشر خاص يسجل على ورقة رسم بيانية دوائر عدد المرات التي تم تفريغ تلك الدلاء، وبعملية حسابية بسيطة نستطيع حساب كمية الأمطار الساقطة (شكل 12).



شكل (12) مقياس المطر ذو الدلاء

وتوجد بعض الأجهزة التي توافق بين هذه الأنواع الثلاث، وبإمكانها ان تحول التسجيل مباشرة الى قيم رقمية تخزن مباشرة على أشرطة الحاسبات الالكترونية. وبعض هذه الأجهزة الذي يثبت بمواقع نائية مزود بأجهزة ارسال، تزود اخطات الرئيسية بمقدار كميات التساقط المسجلة مباشرة، وتعد هذه الطريقة ضرورية جدا في حساب كميات التساقط، وتقدير كمية الجريان السطحي، مما يفيد في تفادي أخطار الفيضانات في بعض المناطق المهددة بها.

استخدام الرادار في قياس / تقدير كمية التساقط :

رادارات الطقس من التقنيات الحديثة التي تقيس تباين كميات التساقط للعواصف المطرية زمانيا ومكانيا. حيث يقوم الرادار بإرسال حزم من الاشعاعات الرادارية قصيرة الموجة بمعدل ألف نبضة puls في الثانية. ويتلقى الرادار بين النبضات الاشارات singles المنعكسة من الأهداف، وتمثل الأهداف في هذه الحالة قطرات المطر المتساقطة، ومن خلال معادلة خاصة يمكن حساب كميات الأمطار المتوقع هطولها على المنطقة. ويراوح مدى تأثير بعض الرادارات ما بين 100-150 ميل من موقع النظام الراداري.

وقد دلت بعض الدراسات على ان استخدام الرادار يعاني من بعض الهنات التي لا توهله تماما ليكون مصدرا موثوقا به في قياس كميات التساقط بشكل دقيق. فقد تبين أن 30٪ من القياسات الرادارية تعادل 26٪ من القيم المقاسة بالطرق التقليدية على بعد يراوح ما بين 19-60 ميل، وتهبط النسبة الى 15٪ في 25٪ من قراءات الرادار اذا تراوحت المسافة بين الرادار ومحطة القياس التقليدية ما بين 60-100 ميل. ويعود السبب الرئيسي في هذا الاختلاف الى أن الموجات الرادارية تسير بخطوط قوسية يفوق تقوسها تقوس الأرض، بحيث لا تستطيع أحيانا هذه الموجات الاصطدام بقطرات المطر نظرا لانخفاض مستواها

عن سطح الأرض. لذلك فإن المناطق المجاورة محطة الرادار يستطيع الرادار تقدير كمية التساقط فيها بمعدل يساوي تماما ما تقيسه أجهزة قياس المطر التقليدية.

ومع ذلك فإن بعض الدول المتقدمة مثل بريطانيا وفرنسا تكاد أن تكون مغطاة بشبكة رصد رادارية تتيح للمتخصصين رصد العواصف المطرية، وتقدير كمية الأمطار المتوقع هطولها، وبذلك تعد هذه الطريقة فعالة في مجال الحد من خطر الفيضانات. إذ أن هذه الرادارات متصلة مع بعضها البعض وترتبط جميعها بمحطة رئيسية، تستطيع من خلال نماذج احصائية تقدير كمية التصريف المائي في الأودية والأنهار الرئيسية، كما أن هذه المحطة ترتبط بمراكز الدفاع المدني والأمن العام، ومحطات الاذاعة والتلفزة، وبذلك تستطيع اعطاء صورة واضحة أولا بأول عن سير المنخفضات والأعاصير الجوية.

بعض المشكلات التي تعترض قياس المطر:

من الصعب القول بأن أية محطة مناخية تمثل تمثيلا حقيقيا للمنطقة المقامة بها. فعناصر الطقس وبخاصة الأمطار هي أكثر عناصر الطقس تأثرا بالظروف الموضوعية. فكلما كانت الأرض سهلية تكون المحطة المناخية أكثر تمثيلا. ويقل تمثيل المحطة للمنطقة المقامة فيها كلما زاد تضرس المنطقة، ولذلك ينصح باقامة أجهزة رصد مطرية بكثافة عالية في المناطق الجبلية الوعرة أكثر من المناطق السهلية.

ويتأثر مدى صدق القياسات المطرية بعوامل أخرى مثل ارتفاع جهاز القياس المطري، وضياح جزء من الأمطار في التبخر وفي تبليد الجهاز، وحدوث دوامات هوائية حول الجهاز، فضلا عن بعض الأخطاء التقنية في مكونات الجهاز نفسه.

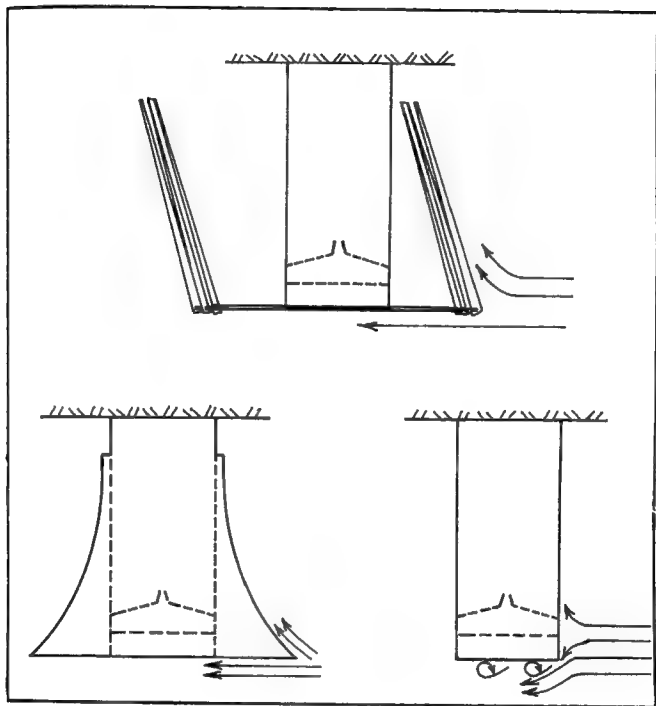
اضطراب الهواء وتطاير قطرات الماء : Turbulence and insplash

تمثل أجهزة رصد المطر عوائق أمام تدفق الرياح فوق سطح الأرض مما

يسبب اضطراب الرياح وحدوث دوامات هوائية حول جهاز الرصد، مما يمنع بعض قطرات الماء من الدخول الى الجهاز، ويتفاوت هذا التأثير بتفاوت سرعة الرياح، وارتفاع الجهاز عن سطح الأرض، فعندما تكون حافة فوهة الجهاز قريبة من سطح الأرض فان تطاير رذاذ الماء الناجم عن اصطدام قطرات المطر بالأرض قد يضيف كميات غير حقيقية الى قراءة الجهاز.

ولذلك يجب ضبط الارتفاع بحيث يكون تأثير هذين العاملين بأدنى حد لهما. وقد يضطر الهيدرولوجيون الى قياس كميات التساقط في بعض المناطق التي تتميز بارتفاع سرعة الرياح وكثرة الزوابع، وفي هذه الحالة من الصعب جدا قياس كمية التساقط بشكل دقيق، ولضادي حصول الأخطاء في القياس يلجأون الى اقامة حاجز دائري حول جهاز القياس بارتفاع قدم واحد وبقطر يصل الى 10 قدم وسك 6 بوصات، وينطبق هذا الأمر على الأجهزة التي تدفن في الأرض، وليس على الأجهزة القائمة على قواعد ترتفع عن سطح الأرض. ويلجأ المختصون بدراسة نظم التساقط في مناطق الغابات والأحراش الى تثبيت الأجهزة على ارتفاع يتراوح ما بين 20-30 قدم عن سطح الأرض، نظرا لما تسببه تيجان الأشجار في حجب مياه الأمطار من الوصول الى أجهزة القياس الأرضية. ومنعا او تقليلا من أثر الدوامية، فان الأجهزة تدفن في الأرض، وتبرز هنا مشكلة تطاير الرذاذ من سطح الأرض، وللتغلب على ذلك تحاط منطقة الأجهزة بطبقة من الحصى مغروس بينها شرائح معدنية مائلة ميلا لطيفا نحو الأجهزة المدفونة.

وتضاف أحيانا لاسطوانة جهاز القياس المطري واقيات تقلل من حصول الدوامات الهوائية التي تتشكل حول الفوهة أو فوقها (شكل 13).



شكل (13) حماية جهاز قياس المطر (أ) و (ب) و (جـ)

ويتبع نموذجين الأول يدعى نوع Nipher والثاني نوع Alter أو Tretyakov. ويتضح من خلال هذا الشكل بأن الدوامة بأعلى الفوهة قد اختفت وان الرياح تنقسم الى جزئين، يتجه أحدها الى الأسفل، والآخر يسير بخط مستقيم.

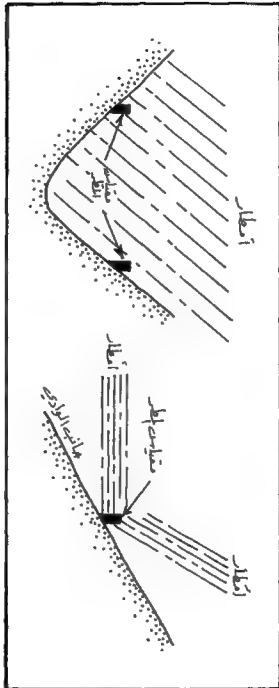
ما زالت بعض الدول تعتمد على ابقاء فوهات أجهزة القياس المطرية بمستوى سطح الأرض. ورغم المحاولات المتكررة، والتجارب العديدة للتخفيف من مشكلة تطاير رذاذ الماء، إلا أن هذه الطريقة ما زالت تعاني من هذه المشكلة. إلا أن الطريقة المشار إليها في الشكل (رقم 9) قد أثبتت جدارتها في الحد بشكل كبير جدا من تطاير رذاذ الماء. وتتفاوت ارتفاعات الأجهزة من دولة الى أخرى ففي بعض الدول لا يتعدى ارتفاع حافة الجهاز عن سطح الأرض الخمس بوصات، وبعض الدول الأخرى ترتفع الحافة الى 12 بوصة كما هو الحال في كندا، وإلى 31 بوصة في كل من اسراليا وبريطانيا والولايات المتحدة، وإلى 79 بوصة في روسيا. وقد أوصت بعض الدراسات بأن الارتفاع الأمثل هو 15 بوصة.

وبناء عليه، يجب اقامة أجهزة قياس المطر بعيدة عن الموارض البارزة، وبعيدة أيضا عن الأشجار والمباني والأعشاب المحيطة بها يجب أن تكون قصيرة، ووضع أكثر من جهاز واحد في المحطة الواحد، كما انه يجب أن توضع الأجهزة ضمن مناطق محمية لتخفف من سرعة الرياح. ويجب أن تبعد الأجهزة عن العمارات مسافة تساوي أربعة أضعاف ارتفاع تلك العمارة. ويعاني أحيانا بعض الباحثين من اختلاف المعايير المستخدمة لقياس الأمطار ضمن الأحواض المائية

التي تشترك فيها أكثر من دولة. ولحل هذه المعضلة وضعت منظمة الأرصاد الجوية معياراً دولياً (IRPG) International reference precipitation gauge بقطر يساوي 5 بوصات على أن تكون الفوهة بارتفاع 5 بوصات من سطح الأرض، باستخدام واق من نوع Alter shield.

زاوية تثبيت أجهزة قياس التساقط : Angle of gauge

من العوامل التي نأخذ من صحة بيانات أجهزة الرصد المطري، تلك الزاوية المحصورة ما بين جهاز الرصد والخط العام للمنحدر المثبت عليه ذلك الجهاز. ففي الشكل رقم (14) يبدو من الرسم (A) أن الجهاز المثبت على الجهة اليسرى يتلقى كمية أكبر من الأمطار عما يصل الجهاز المثبت في الجهة المقابلة رغم تساوي الزاويتين انحصورتين بين خط المنحدر والجهاز. وفي الرسم (B) تشكل الأمطار في الحالتين نفس الزاوية مع المنحدر إلا أن الأمطار التي تسقط بشكل أفقي تقل فرص دخولها إلى الجهاز عن تلك الأمطار التي تسقط بشكل قريب من العمودي رغم تساوي الزاويتين المشار إليهما آنفاً (ما بين خط المطر الساقط وبين خط المنحدر)، ويعود هذا الاختلاف إلى اختلاف الزاوية المحصورة بين خط المطر الساقط وبين حافة الجهاز، ولو كانت الأجهزة مثبتة بمستوى سطح الأرض المحلي لما حصلت هذه الفروق.



شكل (14) زاوية نظيت أجهزة قياس المطر

شبكة الرصد المطري : Gauge network

يلعب الهدف من أية دراسة دورا كبيرا في تحديد عدد المحطات المطرية في وحدة المساحة. فكلما كان عدد المحطات أكبر كلما كانت ممثلة للمنطقة بصورة أفضل. فلو افترضنا أن جهاز مطر فوهته تساوي 5 بوصات أقيم في مكان ما ليمثل مساحة تعادل 10 ميل مربع، فإن مقدار التمثيل يساوي فقط : 1: 100.000.000. لذلك نجد أن بعض الدول تحاول زيادة كثافة شبكة الرصد المطري ما أمكن وبخاصة في المناطق المأهولة أو التي تتمتع بنشاط اقتصادي مميز. فعلى سبيل المثال كانت عدد المحطات المطرية في نهاية الستينات في بريطانيا 6000 محطة، بمعدل يصل الى محطة واحدة لكل 15 ميل²، بينما يصل المعدل في ذلك الوقت في الولايات المتحدة الى 230 ميل². ويصل المعدل العالمي الى نحو 1.000 ميل²/محطة مطرية، وقد حد استخدام الأقمار الصناعية وشبكات الرادار حاليا من الاستمرار في زيادة كثافة شبكة الرصد المطري.

المشكلات التي تعترض تحليل البيانات المطرية :

تواجه الباحثين عدد من العقبات تحول دون وصولهم الى التحليل الأمثل للبيانات المطرية لمنطقة ما. فقد تفتقر بيانات محطة الى فترة زمنية كافية، فيتم اعتماد محطات مجاورة للتعويض عن هذا النقص، وقد يقع خلل في جهاز المطر خبطة ما خلال فترة زمنية، فتفقد تلك الخبطة جزءا من سلسلتها الزمنية، كما تضطر الجهة المسؤولة عن المحطات المطرية تغيير الجهاز أو تبديل مكانه أو تغيير مكان الخبطة المناخية التي تضم أجهزة الرصد المطري. كما تتطلب بعض الأبحاث الهيدرولوجية التعبير عن الأمطار النقطية بأمطار مساحية وذلك لتقدير كمية

المياه الهاطلة على مساحة ما، ومن ثم معرفة نسبة الأمطار القعالة لعاصفة ما على نفس تلك المساحة، وذلك عندما يتم حصر كمية المياه المنسابة في قناة ذلك الخوض المائي عند نقطة معينة وقسمتها على مجموع الأمطار الساقطة على ذلك الخوض. وقد تحتاج بعض الدراسات الى معرفة ما هو الاتجاه العام للأمطار في منطقة معينة، أو لمعرفة ما هو النمط السائد لسير الأعاصير الماطرة في إحدى المناطق المعنية بالدراسة. كما يهتم المهندسون وعلماء الهيدرولوجيا لمعرفة سنة الرجوع لكمية من التساقط، أو تقدير نسبة تكرار كمية ما من الأمطار خلال فترة زمنية. وسنحاول في الصفحات القادمة معالجة بعض هذه القضايا بشكل مفصل.

تعويض بيانات الأمطار المفقودة :

من المعارف عليه، أن فترة 35 سنة هي الفترة الزمنية المثلى لاعطاء فكرة واضحة عن النمط العام لنظام التساقط لأية منطقة. وقد لا تكون بعض المناطق المعنية بالدراسة مغطاة بشكل كاف من المحطات المطرية ولمدة 35 سنة. فنلجأ بهذه الحالة الى معدلات الأمطار في المحطات المجاورة على أن لا يزيد الفارق بين اخطئة المقصودة واخطئة المجاورة ذات السجل الكامل عن 10٪. وقد اقترح Miller طريقة للتعويض، يتم فيها حساب المعدل السنوي للتساقط في المحطات المجاورة خلال 35 سنة، ثم يقسم هذا المعدل على المعدل العام للتساقط لنفس المحطة، ثم يضرب الناتج بمعدل التساقط السنوي للمحطة ذات السجل الناقص، ويكون الناتج هو معدل التساقط السنوي لتلك المحطة. مثال ذلك :

محطة (أ) لها سجل لمدة ثلاث سنوات (وهو الحد الأدنى المقبول في مثل

هذه الحالة)، المعدل السنوي خلال هذه الفترة هو 300 ملم، ويحيط بالمحطة (أ) مجموعة من المحطات ذات سجل طويل، يصل معدل الأمطار السنوي فيها 500 ملم، نأخذ آخر 35 سنة ونحسب معدل التساقط لهذه المحطات ولنفرض يساوي 600 ملم، أي انه يساوي 120٪ من المعدل العام. ويضرب المعدل السنوي لمحطة (أ) والذي يساوي 300 ملم بالنسبة 120٪ يكون الحاصل هو معدل سقوط الأمطار للمحطة (أ) خلال 35 سنة. وهو يساوي :

$$300 = \frac{100}{120} \times 250 \text{ ملم / سنة .}$$

وتستخدم طريقة أخرى، يتم الاعتماد فيها على خطوط تساوي الأمطار isohyets. حيث يتم رسم خطوط المطر المتساوية، اعتمادا على قيم التساقط في محطات مجاورة، ومن خلال الرسم يتم تقدير كمية الأمطار في أية محطة تحتاج الى تقدير كمية التساقط فيها خلال نفس الفترة.

ويتم الاعتماد حاليا على معادلة خط الانحدار البسيط لتقدير كمية التساقط لأية محطة من خلال مجموعة من المحطات المجاورة ولأية فترة كانت. فلو افترضنا أن محطة صويلح قد فقدت قيمة التساقط المطري لشهر كانون ثاني من عام 1997. ومن أجل الحصول على قيمة قريبة من الواقع، نقوم باختيار ثلاث الى أربع محطات مجاورة لها، ونسجل كمية التساقط في هذه المحطات خلال فترة زمنية لا تقل عن 20 سنة تمثل فقط مجموع التساقط في شهر كانون الثاني، ونحسب معامل التفسير او الارتباط من خلال معادلة خط الانحدار البسيط بين تلك المحطات وبين محطة صويلح، والمخطة التي تتمتع بأعلى ارتباط او تفسير بمعنوية احصائية، نعتمدها عند عملية التقدير.

فلو افترضنا أن قيمة a في معادلة خط الانحدار تساوي 20 وقيمة b تساوي 150، فإن كمية الأمطار الساقطة خلال شهر كانون ثاني عام 1997

على مدينة صويلح، اذا علمنا ان محطة الكنته هي الأكثر ارتباطا معها، والتي يصل معدل سقوط الأمطار فيها خلال عشرين سنة يصل الى 150 ملم. يقدر بنحو 125 ملم، وذلك من خلال تطبيق معادلة خط الانحدار التالية :

$$y = a + bx$$

حيث أن: y = كمية الأمطار المقدرة خلال شهر كانون ثاني لمحطة صويلح.

$$a = 20 \text{ ملم} / \text{ نقطة القطع}$$

$$b = 0.7 / \text{ معامل الانحدار}$$

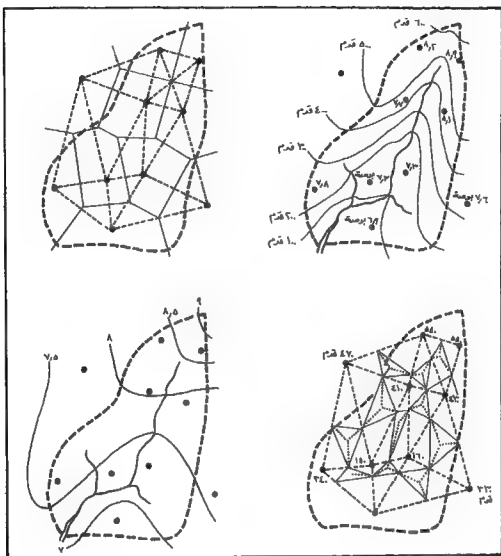
$$x = \text{معدل الأمطار خلال شهر كانون ثاني في محطة الكنته}$$

تقدير كمية الأمطار الساقطة على مساحة معينة :

يحتاج المختصون في مجال الدراسات الهيدرولوجية الى حساب كمية الأمطار التي تسقط على المكان، وذلك بتحويلها من بيانات نقطية point rainfall الى بيانات مساحة Arial rainfall لتمثل الكميات التي تهطل على المنطقة ككل وليس على المحطة بعينها. وتتبع عدة سبل لانجاز تلك العملية. وتنحصر هذه الطرق بما يلي :

1. المتوسطات الرياضية : Arithmetic mean

وتعد هذه الطريقة أسهل الطرق، وتستخدم في الحالات التي تكون المنطقة المعنية بالدراسة منطقة سهلة قليلة التضرس، أو ضمن المناطق التي تتميز بكثافة شبكة الرصد المطري، وتنحصر هذه الطريقة بجمع كميات الأمطار أو بجمع معدلات الأمطار لجميع المحطات وقسمة الناتج على عدد المحطات. ففي الشكل رقم 15، تدل الرسمة (A) على أن متوسط الأمطار الساقطة على الحوض بنحو 7.78 بوصة. علما بأن منطقة الدراسة ليست سهلة، حيث يبدو الفارق في المنسوب بين أعلى نقطة في الحوض وأخفض نقطة يصل الى 500 قدم.



شكل (15) طرق تقدير كميات الأمطار الساقطة على حوض معين

2. طريقة المضلعات : Thiessen polygons

تمكن هذه بطريقة استخدام بيانات بعض المحطات المجاورة عند استخراج المتوسطات الموزونة ويوضح الرسم (B) في الشكل السابق (15) هذه الطريقة. حيث نصل بين المحطات داخل الحوض أو التي تقع على أطرافه بخطوط مستقيمة، ثم ننصف تلك المستقيمات، ونقيم من المنتصف أعمدة تلتقي بالأعمدة المنصفة للخطوط الواصلة بين المحطات الأخرى المجاورة، وبهذا نكون قد قسمنا الحوض الى مضلعات، يقع بمنتصف كل مضلع محطة رصد مطرية، ثم نقوم بحساب نسبة مساحة كل مضلع من مساحة الحوض الكلي. ثم نضرب معدل التساقط في كل محطة بتلك النسبة، ثم نجمع حاصل الضرب، ويكون الرقم المستخرج متوسط كمية التساقط على هذا الحوض. ففي الشكل (15) يدل الرسم (B) على أن متوسط الأمطار الموزونة يصل الى 7.62 بوصة.

أو نقوم بجمع كمية التساقط للمحطات جميعها، ونضرب كمية التساقط في كل محطة بمساحة مضلعها، ونجمع حاصل الضرب بينهما، ثم نقسم حاصل الجمع الناتج على مجموع التساقط في كل المحطات، ويكون الناتج هو مقدار متوسط الأمطار الموزونة.

3. طريقة توازن الارتفاع Height-balanced polygons :

وتتميز هذه الطريقة بأنها تعطي وزنا لعامل الارتفاع وتوزيع المحطات في الحوض، وتعتمد هذه الطريقة على تنصيف الخط الواصل بين المحطات المتجاورة على أساس الارتفاع وليس على أساس المسافة بينهما، وعند تحديد النقطة التي تمثل منتصف الفارق في الارتفاع بين المحطتين المتجاورتين نقيم من

هذا المنتصف عموداً، كما هو الحال بطريقة المضلعات السابقة الذكر. (انظر الشكل... 15 C) ثم نكمل الخطوات كالمعتاد ونستخرج المتوسط العام للتساقط. وفي المثال المين في الشكل السابق (15 C) يتضح أن المتوسط العام يساوي 7.57 بوصة.

4. طريقة خطوط المطر المتساوي Isohyetal method :

نحتاج هذه الطريقة الى خيرة متميزة في رسم خطوط تساوي المطر، وتعد هذه الطريقة أفضل من الطرق السابقة، الا أن عيبها بضرورة اعادة الرسم كلما تغيرت الفترة الزمنية، حيث تتغير معها القيم ومن ثم يتغير معها النمط لخطوط التساوي ومن ثم تختلف المساحات المحصورة بين الخطوط، كما يمكننا استخدام محطات رصد مجاورة، لتسهيل عملية رسم الخطوط.

وتتم هذه الطريقة بحساب المساحة المحصورة بين كل خطين متجاورين، ثم حساب متوسط الأمطار لتلك المساحة بقسمة جاصل جمع قيمة الخطين على اثنين، ثم تضرب هذه المساحات بمتوسطات أمطارها، ثم تجمع حواصل الضرب وتقسم على مجموع مساحة الحوض، ويكون الناتج هو مقدار متوسط الأمطار الموزونة لذلك الحوض، وفي المثال الممثل بالشكل (رقم 15 D)، فإن متوسط الأمطار الموزونة يساوي 7.66 بوصة.

وبواسطة خطوط المطر المتساوية وبتطبيق المعادلة التالية، نستطيع الحصول أيضاً على متوسط الأمطار الموزونة للحوض. فمن خلال الشكل 15 D، نحسب طول خط المطر المتساوي الذي يمثل أعلى قيمة (A)، ونحسب أيضاً طول خط المطر المتساوي الذي يمثل أقل قيمة (B)، وبمعرفة الفاصل ما بين أعلى قيمة

وأقل قيمة (أ) فإننا نحصل على المتوسط الموزون للتساقط على الخوض المعني
بالدراسة. ويصل المعدل في المثال الموضح في الشكل الى 7.72 بوصة.

$$r = B + \frac{i}{3} \frac{(2a + b)}{a + b}$$

فترات الرجوع : Return Period

ويقصد بها الفترة الزمنية المتوقع تكرار كمية معينة من الأمطار، وهي من الأمور الهامة عند تخطيط المدن، ومد الطرق والسكك الحديدية، وحفظ التربة وصيانة العديد من الموارد الطبيعية. وقد يستخدم مفهوم عدد السنوات اللازمة لتكرار قيمة معينة، أو مفهوم نسبة احتمال تكرار قيمة معينة خلال فترة زمنية محددة. وقد جرت العادة أن تستخدم فقط أعلى كمية تساقط في كل سنة محطة ما. بحيث ترتب هذه القيم تنازليا وتعطى كل قيمة رتبا حسب تسلسلها، فأعلى كمية تحمل رتبة رقم 1، وثانية كمية تحمل رتبة رقم 2 ... حتى نهاية السلسلة. وقد تستخدم السلسلة الشاملة بحيث تدخل جميع كميات التساقط مهما كانت قيمتها وترتب ترتيبا تنازليا حسب قيمتها، وتعطى كل قيمة رتبة حسب تسلسلها. وهناك بعض الطرق لا تحتاج الى استخدام هذا الترتيب حيث تستخدم نماذج رياضية قد تكون في غاية التعقيد، لا يمكن التعامل معها بسهولة الا بواسطة الحاسبات الالكترونية.

ففي المعادلة التالية :

$$T = \frac{1}{p}$$

فان احتمال تكرار أكبر كمية من الأمطار او أعلى منها خلال سلسلة زمنية قدرها 30 سنة في العام القادم هو

$$P = \frac{1}{30}$$

وتساوي 0.033 وان احتمال عدم تكرارها خلال السنة التالية هو :

$$P = 1 - p = 1 - \frac{1}{T}$$

وتساوي 99.97%. ولو كان لدينا سلسلة زمنية قدرها 300 سنة، وتكررت هذه الكمية عشر مرات، فإن احتمال تكرارها في أي سنة قادمة هو 3.3٪ فقط.

ولتحديد الفترة الزمنية اللازمة لتكرار كمية معينة أو أعلى منها، نطبق المعادلة التالية بعد أن نكون قد رتبنا القيم تنازليا.

$$T = \frac{n+1}{m}$$

حيث أن:

T = الفترة الزمنية المتوقع تكرار كمية معينة من الأمطار أو تزيد عنها.

n = عدد سنوات السلسلة الزمنية أو عدد الحالات / الكميات.

m = رتبة الكمية المقصودة بالنسبة إلى جميع الكميات الواردة في السلسلة الزمنية

فلو كانت لدينا كمية من الأمطار تحتل المرتبة (10) ضمن سلسلة زمنية طوها (30) سنة فإن عدد السنوات اللازمة / المتوقع تكرار هذه الكمية أو أعلى منها هو :

$$\text{الزمن} = \frac{\text{عدد سنوات السلسلة} + 1}{\text{الرتبة}}$$

$$\text{الزمن} = \frac{1 + 30}{10} = 3.1 \text{ سنة}$$

ويتم التعبير غالبا عن هذين المفهومين من خلال المنحنيات البيانية، بحيث يمثل المحور السيني سنوات الرجوع، ويمثل المحور الصادي احتمالية التكرار لكل قيمة من القيم الموجودة في السلسلة المطرية.

الثلج ودوره في الدورة العامة للغلاف المائي :

لا يمثل الثلج خارج نطاق الدائرة القطبية، والعروض العليا نسبة مهمة من التساقط، ففي الولايات المتحدة يشكل التساقط الثلجي 13٪ من مجموع التساقط الكلي. ويركز علماء الهيدرولوجيا على الفترة التي تسقط فيها الثلوج when أكثر من تركيزهم على مكان تساقط where لأنه في النهاية قد يلدوب، كما يركزوا على معدل تسارع الذوبان. وذلك للأهمية الكبرى في مجال تقدير التصريف المائي للأودية الرئيسية والأنهار.

توزيع الثلوج : Distribution of snow

تميل الثلوج للتوزع بنمط يتفق ونظام التضاريس في المناطق التي يكثر تساقطه فيها. لكون المرتفعات توفر الظروف المناخية الملائمة لتساقطه وبقائه لفترة ما دون ذوبان. اذ يلزم هبوط درجة حرارة الهواء الحمل بقطرات الماء الى ما دون الصفر، وبقاء الهواء الملامس للثلج بعد سقوطه دون الصفر أيضا. لذلك فان تساقط الثلج وبقائه يتأثر بفصول السنة وبارتفاع التضاريس، ويتفاوت منسوب بقاء الثلج دون ذوبان من مكان الى آخر وفق خطوط العرض، كما أنه يتفاوت من فصل الى آخر في الموقع الواحد.

كمية الثلوج الساقطة : Amount of snowfall

من الصعب قياس كمية الثلوج المتساقطة مقارنة بكيفية قياس كمية الأمطار الساقطة، كما أنه من الصعب ترجمة كمية التساقط الثلجي الى كميات مطرية، ونظرا لعدم تجانس عمق الثلج وكثافته فإن من الصعوبة بمكان تقدير حجمه رغم أهمية هذا الأمر بالنسبة لعلماء الهيدرولوجيا.

وتستخدم مسطرة مدرجة لتقدير عمق الثلوج في عدة مواضع لاعطاء المتوسط العام لسمكه في منطقة ما، وتستخدم قوائم مثبتة بشكل دائم ذات تدرج واضح في المناطق التي تتعرض لتساقط الثلوج بشكل دائم. بحيث يستدل منها على سمك الثلوج.

ولكن الأمر المهم بالنسبة للمختصين في مجال الهيدرولوجيا ليس سمك الثلوج بقدر ما ينتج عنه من مياه، وللحصول على هذا الأمر فإن الراصد يقوم بادخال أنبوب معدني داخل الثلج ومن مواقع مختلفة، ويقوم بعد ذلك باذايته وحساب حجم الماء الناجم من حجم محدد، ثم يتم تحويل هذه الكمية الى ما يعادلها من تساقط مطري، ومن ثم يمكن تقدير حجم المياه التي يمكن الحصول عليها بواسطة التسرب والجريان السطحي بفعل الذوبان. وقد دلت الدراسات على أن النسبة بين سمك الثلج وسمك الماء تساوي 12: 1، ان ثلجا بسمك 12سم (120ملم) يمكن أن يساوي 1سم (10ملم) من الأمطار، وينطبق هذا على الثلوج الحديثة التساقط فقط.

وتحرص بعض الدول على قياس كمية الثلوج المتساقط في المناطق النائية، وتحويل كميته مباشرة الى ما يعادلها من مياه، ويستخدم لهذا الغرض

أجهزة خاصة مزودة بجيبيات مشعة لأشعة جاما. مثال ذلك جهاز (Cobalt 60). ويعمل هذا الجهاز على مبدأ تغير نمط تلقية لأشعة جاما الناجمة عن الجيبيات المشعة المدفونة في الأرض بجانبه. ويتصل هذا الجهاز بمحطات الرصد المركزية بواسطة جهاز ارسال خاص، يثبت مباشرة مقدار تساقط الثلج بمقدار ما يعادل ذلك التساقط من ماء. كما يمكن قياس وزن الثلج مباشرة بواسطة صفائح متصلة بميزان يقيس مباشرة وزن الثلج المتراكم عليها، وبعد ذلك نقوم بتحويل هذا الوزن الى ما يعادله من ماء وفق معادلات معروفة.

وتستخدم الأقمار الصناعية، التي تعتمد في مسحها على تقنيات خاصة، يمكنها تحديد المساحة التي تغطيها الثلوج ضمن أحواض التصريف المائي. وقد تستخدم طائرات خاصة أيضا تقوم بالنقاط الصور الجوية لنفس الغرض.

ذوبان الثلج : Snowmelt

من الأمور الهامة في مجال الهيدرولوجيا هو تحديد معدل ذوبان الثلوج. فعندما تسحب الثلوج ببطء فإن كمية المياه المتسربة الى باطن الأرض تزداد، وكلما زاد معدل ذوبانه يزداد معدل الجريان المائي. ويعتمد ذوبان الثلج على الموازنة الاشعاعية فوق المساحات المغطاة بالثلج، أي عندما تزيد الطاقة الممتصة عن الطاقة المفقودة. وتعد أشعة الشمس المصدر الرئيسي للطاقة فضلا عن الطاقة المستمدة من سطح الأرض وتكاثف بخار الماء والأمطار الساقطة، إلا أن درجة حرارة الهواء هي العامل الحاسم في تحديد معدلات ذوبان الثلوج.

ويتأثر معدل ذوبان الثلوج بالمناخ الأصغر Micro Climate، ففي السطوح الجنوبية بنصف الكرة الشمالي يكون معدل الذوبان أقل منه في

السفوح الشمالية. كما أن المناطق المخاضية للغابات يقل معدل الذوبان بصورة واضحة مقارنة بالمناطق الأبعد. وتمكث الثلوج فترة أطول فوق قمم المرتفعات من مكوئها في المناطق السهلية المنخفضة. كما تلعب الأمطار دوراً مهماً في تسارع ذوبان الثلوج وبخاصة في المناطق التي تغطيها الثلوج بسماكات متواضعة. إذ أن تساقط الأمطار فوق ثلوج سميكة لا يؤثر على معدل ذوبانه بصورة كبيرة.

التبخر Evaporation

مقدمة

التبخر هو عملية تحول المواد السائلة والصلبة الى غازات. وتعد البحار والمحيطات المصدر الرئيسي للبخر الذي يزود اليابسة بالمياه، يلي ذلك ما يتبخر من النباتات والربة والجداول والأنهار والبحيرات الداخلية. ويقاس التبخر عادة بالاستتيمر المكعب أو الانش المكعب في الساعة أو اليوم أو الشهر أو السنة. وللتبخر أهمية كبيرة في عدة مجالات منها ما يتعلق بانتاج الأغذية أو الملابس أو راحة الانسان، وغيرها

عملية التبخر :

يتكون الماء كغيره من المواد من جزيئات ميكروسكوبية دائمة الحركة. سواء أكانت هذه المادة ضمن مسطحات مائية واسعة أو على شكل ماء مدمص مع حبيبات التربة. وان هذه الجزيئات في حركة دائمة تزداد بازدياد درجة الحرارة، لدرجة تنطلق بعدها تلك الجزيئات في الجو ضمن الطبقات السفلى للغلاف الجوي. ولذلك فان معدل التبخر يعتمد على عدد الجزيئات التي تنطلق في الجو منقوصا منها عدد الجزيئات العائدة الى ذلك السطح المائي. واذا كان مقدار الجزيئات العائد الى المسطحات المائية أكثر من المنطلق منها فاننا ندعو هذه الحالة بالتكاثف Condensation.

وبشكل عام فان عملية التبخر تكون على أشدها في المناطق الحارة الجافة أو في الطقس الحار الجاف وعلى أقله في المناطق الباردة أو الطقس البارد

الهادئ. لأن الهواء عندما يكون حارا فان ضغط البخار الاشباعي (E) للماء يكون عاليا، وعندما يكون الهواء جافا فان ضغط البخار الحقيقي (e) للماء يكون منخفضا. أي أن العجز الاشباعي (E-e) في الوضع الجاف يكون كبيرا والعكس في الظروف الباردة يكون قليلا. وتتوقف عملية التبخر عندما يصل مقدار العجز الاشباعي (E-e) الى الصفر، ويمكن أن يحصل ذلك في ظروف خاصة عندما يكون الوضع هادئ بشكل مطلق *absolutely calm conditions* لذلك فان اضطراب الهواء وزيادة نشاط حركات المزج بين طبقات الغلاف الجوي يساعد على زيادة كميات المياه المتبخرة.

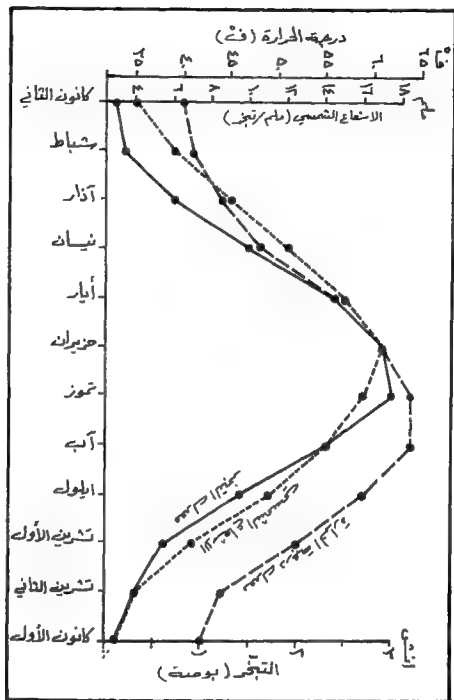
العوامل التي تؤثر على عملية التبخر من المسطحات المائية :

توجد العديد من العوامل الطبيعية والمناخية التي تؤثر بمعدلات التبخر ولكن من الصعوبة بمكان فصل تأثير كل منها على التبخر وهناك طريقتين أساسيتين لتقدير حجم التبخر: الأولى *Turbulent transfer*.. والثانية : موازنة الطاقة *Energy balance*. وفيما يلي أهم العوامل المؤثرة على معدلات التبخر.

أولا : العوامل المناخية :

1. الاشعاع : Radiation

يحتاج تبخر غرام واحد من الماء وهو في حالة سائلة الى 590 سعر حراري. ونظرا لكون الشمس هي المصدر الرئيسي للطاقة على سطح الكرة الأرضية فان مقدار التبخر يرتبط ارتباطا وثيقا بكمية الاشعاع الشمسي لدرجة أطلق على عملية التبخر بمجملها *Solar Evaporation* (الشكل رقم 16).



شكل (16) معنى المعدل الشهري للتبخر الكلي

2. درجة الحرارة : Temperature

يعتمد الماء والهواء بحرارتيهما على كمية الاشعاع الشمسي. وعليه فانه من المؤكد ارتباط درجة حرارتيهما بمعدلات التبخر (شكل 16) فدرجة حرارة المياه السطحية تؤثر على كمية الجزيئات التي تنطلق منه الى الغلاف الجوي، لأن درجة الحرارة تؤثر في سرعة حركة تلك الجزيئات. وان درجة حرارة الهواء تؤثر في عملية المزج والاضطراب التي من شأنها زيادة معدلات التبخر.

3. الرطوبة : Humidity

تؤثر الرطوبة في الجو على كميات التبخر بطريقتين: ضغط البخار الحقيقي والرطوبة النسبية. حيث تتناسب معدلات التبخر مع كمية الرطوبة الحقيقية في الجو ومع الرطوبة النسبية أيضا عند درجة حرارة ما. وبين الشكل (16) كيف يتباين ضغط البخار الحقيقي تبانيا طفيفا خلال اليوم، بينما تتباين الرطوبة النسبية تبانيا واضحا وفق تباین درجة الحرارة، فعندما ترتفع الرطوبة النسبية في الجو يقل معدل التبخر في المسطحات المائية. فعلى سبيل المثال عندما تزداد درجة الحرارة من 17م - 17.5م فان مقدار التبخر يزداد من 0.25 ملم / الساعة - 0.93 ملم / الساعة، في حين تنقص الرطوبة النسبية من 91% - 75%.

وعليه، فان ارتفاع الرطوبة النسبية في الجو الناجم عن انخفاض درجة الحرارة ومع بقاء الظروف الأخرى ثابتة فان معدلات التبخر سوف تتناقص. لذلك فان كمية التبخر في الطقس البارد تكون محدودة مقارنة بتلك الكميات في الطقس الحار. لان الهواء الملامس لسطح الماء يكون قادرا على تحمل كميات أكبر من بخار الماء.

4. الرياح : Wind

عندما يكون الجو هادئا فان كمية المياه المتبخرة من المسطحات المائية تأخذ بالنقصان لأن الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح تصل الى درجة التشبع، وتعود جزيئات من الماء مرة أخرى الى ذلك السطح المائي. لذلك فان رياحا خفيفة تعمل على خلط جزيئات الماء الموجودة على شكل بخار في طبقات الهواء الملاصقة لسطح الماء تخلطها مع طبقات الهواء الأعلى والأكثر جفافا من السفلى، مما يساعد على زيادة المياه المتبخرة، ومن الصعب جدا أن نجد في الطبيعة هدوءا تاما للهواء، لذلك فان الرياح تؤثر في كميات المياه المتبخرة.

ومن المعروف أن الهواء المضطرب هو الأكثر نجاسة في زيادة معدلات التبخر، علما بأن سرعة الرياح ترتبط ارتباطا وثيقا مع اضطرابه، لذلك يمكننا القول بأن سرعة الرياح عامل هام في زيادة معدلات التبخر، ولكن هذا الأمر ليس مطلقا، حيث تتوقف هذه العلاقة عند سرعة معينة. وتختلف النماذج المستخدمة في تقدير معدلات التبخر في المسافة الرأسية المثالية المعتمدة لقياس سرعة الرياح عندها، فببما يعتمد في معادلاته ارتفاع 2 متر عن سطح الأرض بينما يعتمد غيره ارتفاع 10 متر عن سطح الأرض.

5. الضغط الجوي : Barometric pressure

من المعروف نظريا بأن جزيئات الماء تصبح أكثر حرية في الانطلاق عندما تكون كثافة الهواء الملاصقة لسطح الماء أقل. ولكن من الصعب تقدير أثر عامل الضغط الجوي على معدلات التبخر نظرا لارتباطه بالعديد من عناصر الطقس. ولا توجد علاقة مطلقة واضحة بين معدلات التبخر وقيمة الضغط.

الجوي، ففي أعالي القمم الجبلية حيث تنخفض قيم الضغط الجوي تقل درجات الحرارة ومن ثم تقل معدلات التبخر. لذلك يمكن القول بأن العلاقة بين الارتفاع عن سطح البحر وبين معدلات التبخر غير واضحة، فعلى سبيل المثال فقد توصل أحد العلماء إلى أن قيم التبخر لا تتغير بصورة واضحة على ارتفاعات تزيد عن 10.000 قدم.

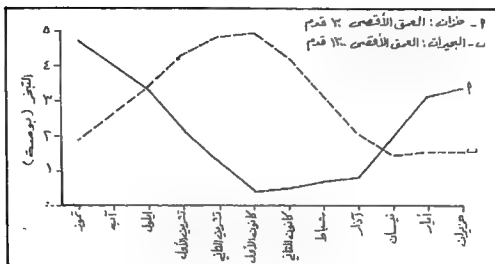
ثانياً : العوامل الجغرافية :

1- نوعية المياه Water quality

تأثر قيم التبخر من المسطحات المائية بنوعية مياهها. حيث تقل معدلات التبخر 1% عندما تزيد ملوحة المياه 1% لذلك فإن معدل التبخر من المسطحات المائية التي تصل نسبة ملوحتها 3.5% تقل من 2 إلى 3 % عن تلك المعدلات من المسطحات المائية ذات المياه العذبة. وهذا الأمر يعود إلى تناقص ضغط البخار للمياه المالحة. وللعكورة تأثير ضعيف أيضاً على كمية التبخر، كما أن للموازنة الحرارية لمياه المسطحات المائية تأثير غير مباشر على معدلات التبخر.

2. عمق المياه : Depth of water body

لعمق المياه أثر مؤكد على معدلات التبخر، ففي المياه الضحلة يتوافق منحني درجة الحرارة مع منحني درجة حرارة المياه. ولكن في المياه العميقة فإن منحني درجات الحرارة يكون بصورة عكسية مع منحني درجات الحرارة للمياه السطحية (شكل 17)، وعليه فإن معدلات التبخر في المياه الضحلة تكون على أشدها بمنتصف الصيف، بينما في المسطحات العميقة يكون على أشده بمنتصف فصل الشتاء. وبهذا الأمر إلى عملية الحزن الحراري وعملية المزج البطيئة ضمن المسطحات المائية العميقة.



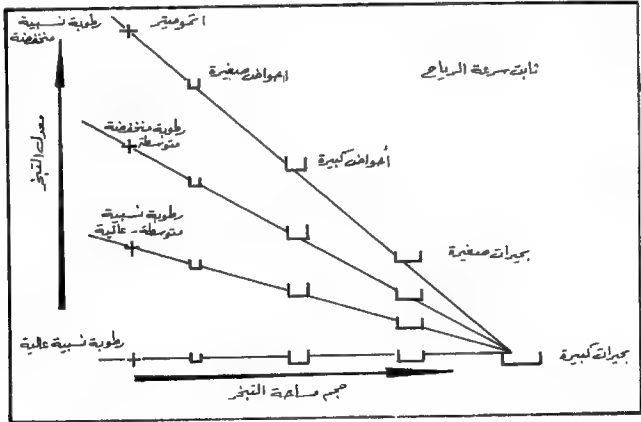
شكل (17) تحليل التبخر أ- التبخر على عمق 30 قدم من خزان مائي
ب- التبخر من بحيرة بعمق 1300 قدم

3. حجم وشكل المسطحات المائية Size and shape of water surface

تعرضت هذه الخاصية لمزيد من البحث والتحقيق من قبل العلماء. إذ تبين أن المسطحات الصغيرة الحجم الواسعة المساحة تكون معدلات التبخر فيها عالية (شكل 18). ويعود السبب في ذلك إلى عملية التبخر ذاتها. حيث تنطلق جزيئات الماء إلى الطبقات الهوائية الملاصقة لسطح الماء، وإن استمرار هذه

العملية سوف يؤدي الى زيادة محتوى الهواء الملامس للماء لبخار الماء، مما يؤدي الى الاقلال من معدلات التبخر حيث تنشأ طبقة هوائية تدعى blanket غنية ببخار الماء، واذا استمر تدفق الرياح بنفس الاتجاه فان هذه الطبقة تزداد سمكتها، وتعمل على نقص معدلات التبخر من سطح البحيرات الكبرى. أما فيما يخص البحار والمحيطات الشاسعة فان هذا الأمر لا ينطبق عليها، وانما تخضع لعوامل أخرى كالتأثير الحراري.

وبعبارة أخرى، فان الرياح الجافة عندما تهب عبر البحيرات الكبرى، تعمل على زيادة التبخر عند البداية، ولكن عند نهايات البحيرة، وعندما يصبح الهواء محملاً ببخار الماء، فان معدلات التبخر تقل، بينما لا يتوفر هذا الأمر عندما يكون المسطح المائي صغيراً، حيث تعمل الرياح على نقل بخار الماء بعيداً عن ذلك الجسم.



شكل (18) معدل التبخر من مسطحات مائية صغيرة الحجم واسعة المساحة

العوامل التي تؤثر على معدلات التبخر من التربة :

تؤثر العوامل المناخية السابق ذكرها آنفاً على معدلات التبخر من التربة. ولكن معدلات التبخر من التربة تختلف اختلافاً جذرياً عن تلك المعدلات من المسطحات المائية المفتوحة ليس بسبب العوامل المناخية، ولكن بسبب امكانية توفر المياه لهذه الغاية. ففرص التبخر من المسطحات المائية هي 100٪، بينما تقل تلك النسبة في التربة. لذلك فإن العوامل التي تؤثر على معدل التبخر من التربة هي العوامل التي يمكنها أن تزيد نسبة تلك الفرصة:

1. محتوى الرطوبة المائي للتربة Soil moisture content

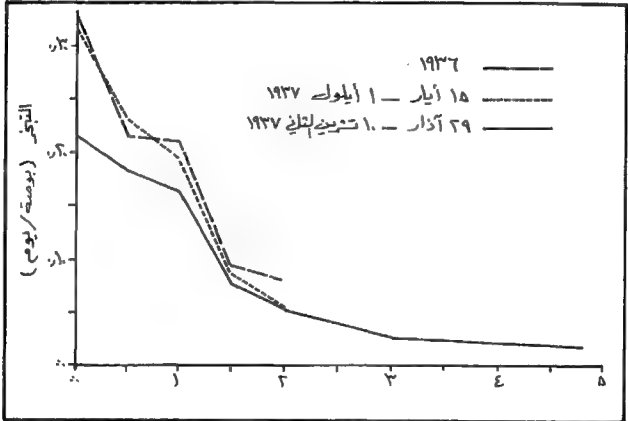
ويعد هذا العامل أهم عامل على الإطلاق. إذ تعامل التربة المشبعة بالماء معاملة المسطحات المائية فيما يخص معدلات التبخر. وقد أثبتت التجارب العلمية في هذا المجال أن هناك علاقة قوية بين معدلات التبخر من المسطحات المائية المفتوحة مع معدلات التبخر من التربة المروية. كما تبين أيضاً وجود علاقة قوية بين المحتوى المائي للتربة وبين معدلات التبخر، ويكون مقدار التبخر من التربة المشبعة مساوياً لمقدار التبخر من المسطحات المائية.

2. الخاصية الشعرية : Soil Capillary

تزداد الخاصية الشعرية نشاطاً كلما كان قوام التربة ناعماً، وتقل عندما يكون قوامها خشناً. ولهذه الخاصية أثر كبير في معدلات التبخر من التربة. حيث تعمل تلك الخاصية الشعرية على تزويد حبيبات التربة السطحية بالماء (إذا كان الطقس جافاً) ومن ثم تساعد على زيادة معدلات التبخر. ولكن إذا كانت هذه الخاصية ضعيفة فإن معدلات التبخر ستكون أقل.

3. عمق المياه الجوفية : Water table depth

تزداد معدلات التبخر من التربة كلما كان مستوى الماء الباطني قريبا من السطح، وتبدأ المعدلات بالتناقص الى أن يصل عمق المياه الجوفية الى 3 أقدام، حيث يتوقف ذلك التأثير على معدلات التبخر. ويتضافر هذا الأثر مع أثر الخاصية الشعرية على معدلات التبخر من التربة (أنظر الشكل 19).



شكل (19) العلاقة بين التبخر من التربة وعمق الماء الجوفي

4. لون التربة : Soil colour

يؤثر لون التربة على معدلات التبخر لأن التربة الأغمق تتميز بانخفاض الأليديو، حيث تمتص كمية أكبر من الحرارة من التربة الأخف لونا. وهذا الأمر يساعد على رفع درجة حرارة التربة الأغمق، ومن ثم زيادة معدلات التبخر.

5. الغطاء النباتي : Vegetation

ان وجود الغطاء النباتي يعمل على خفض درجات الحرارة للتربة لما يسببه من ظل، لذلك فان معدلات التبخر تقل، كما تقلل النباتات من سرعة الرياح، وتزيد من الرطوبة الطبيعية في الجو، وعليه فان الغابات الطبيعية تقلل أحيانا كمية التبخر بنسبة 70٪.

التبخر من الثلج :

لم يحظ هذا الميدان على اهتمام العلماء، حيث تركزت الدراسات في هذا المجال على مدى مساهمة الثلوج في الجريان المائي، فضلا عن الوقت الذي تغطي به الثلوج سطح الأرض تكون الظروف المناخية بوضع تقل بموجبه معدلات التبخر. ولكن حظي هذا الموضوع في الآونة الأخيرة ببعض الاهتمام بعد أن تيقن المهتمون بأهميته.

فعندما يبدأ الثلج والجليد باللويان عند درجة الصفر المتوي، فان التبخر يبدأ فقط عندما يكون ضغط البخار للهواء الملامس للثلج أقل من ذلك الضغط على سطح الثلج أو الجليد، ويتوقف التبخر من الثلج نفسه عندما تصل نقطة الندى الى الصفر وأعلى من ذلك، وهنا يكون معدل ذوبان الثلوج

والجليد أعلى من معدل التبخر. كما تبين أن أهم عامل يؤثر على معدلات التبخر من الثلوج هي الرياح. وأن معدل التبخر من الثلوج خلال فصل الربيع يصل الى بوصة واحدة في الشهر أو اقل من ذلك.

تقدير التبخر : The estimation of evaporation

ظهرت خلال القرن العشرين العديد من المعادلات التي تحاول تقدير معدلات التبخر. الا أنها بنيت جميعها على أساس قانون دالتون Dalton الذي ينص على أنه "إذا كان ضغط البخار الحقيقي للهواء الملامس لسطح الماء أقل من ضغط البخار الحقيقي لمياه السطح، فسوف تتم هنا عملية التبخر". وقد وصف اوليفر Olivier عشر طرق لتقدير التبخر. وخلص من دراسته الى انه يوجد استثناء او استثنائين من هذه الطرق والا فان جميعها متشابهة، وان الاختلافات فيما بينها وبين قانون دالتون طفيفة جدا، كما تبين بأن الاختلافات الرئيسية بين هذه الطرق تنحصر بالثوابت المستخدمة بتلك النماذج أو بسبب اختلاف التقنية المستخدمة في القياس، او كليهما معا.

ولكن يمكننا القول بأن أحدث طريقتين الآن هي طريقة Turbulent Transfer approach وطريقة Energy balance approach، والتي تقوم على أسس فيزيائية الجور.

الطريقة الأولى التحول الاضطرابي : Turbulent Transfer approach

وتقوم هذه الطريقة على مبدأ أن الرياح كالسوائل تسير بخطوط مستقيمة laminar أو بحركة اضطرابية turbulent حيث تسير جزيئات الهواء في الوضع الأول بخطوط مستقيمة بينما تسير جزيئات الهواء في الثانية بخطوط

غير منتظمة. وتأثر هاتين الحركتين بمدى خشونة السطح التي تسير الرياح فوقه وسرعة تلك الرياح.

لذلك فإنها تتأثر بشكل فعال باستقرارية الهواء، التي تتفاوت من حين إلى آخر في اليوم الواحد. ويرتبط هذا الأمر أولاً بدرجة حرارة الهواء، لذا فإن أقصى حالات المزج والاضطراب تكون في الأيام العادية في ساعات ما بعد الظهر. وما دامت حركة المزج مستمرة فإن عملية التبخر تبقى مستمرة، وإذا ما توقفت عملية الخلط فإن عملية التبخر تتوقف بناء على قانون دالتون.

وبناء عليه، فإنه يمكن تقدير معدلات التبخر من خلال القيام بعملية قياس فعلية لرطوبة الهواء على ارتفاعين مناسبين ضمن الطبقة الهوائية المضطربة، وقياس سرعة الرياح على مستوى أو اثنين. وبناء على هذين العنصرين فقد تطورت العديد من المعادلات الخاصة بتقدير معدلات التبخر، والتي سنأتي على ذكرها فيما بعد.

الطريقة الثانية : توازن الطاقة Energy Balance Approach

وتقوم هذه الطريقة على مبدأ يقول: "بأن التبخر يحتاج إلى طاقة حتى يتم"، وأن تبخر غرام واحد من الماء يحتاج إلى 590 سعر حراري، وعليه فإن كمية التبخر تعتمد بالدرجة الأولى على الطاقة الحرارية الأصلية على سطح الأرض وفق معادلة الموازنة الإشعاعية :

$$R - R_A - R_E = H_E + H_A + H_B + H_C$$

حيث تمثل R مقدار الأشعة الواصلة إلى الأرض، R_A أشعة طويلة منعكسة من الماء واليابسة إلى الجو، R_E تنعكس بفعل الغلاف الجوي، H_E

المستخدمة في عملية التبخر، H_A المستخدمة في رفع درجة حرارة الهواء الملامس لسطح الأرض H_B تستخدم لتسخين التربة وسطح الماء، H_C وتستخدم في عملية التمثيل الضوئي.

وتقاس الأشعة الواصلة الى سطح الأرض بواسطة أجهزة خاصة. سواء تلك الأجهزة التي تقيس مباشرة مقدار الأشعة أو باستخدام معادلات خاصة تستخدم ساعات الشمس التي تقاس أيضا بأجهزة خاصة. وأول من حاول استخدام صافي الاشعاع في تقدير معدلات التبخر من المسطحات المائية أنجستروم Angstrom، وتعد معادلة بنمان عام 1948 في هذا المجال الأكثر شيوعا.

قياس التبخر من المسطحات المائية

وتتم بواسطة قياس او تقدير المدخلات والمخرجات والكمية المخزنة من المياه لأي مسطح مائي. حيث أن المدخلات هي التساقط ومياه الجداول والينابيع، أما المخرجات فهي التبخر والجريان والتسرب وتغير المخزون. ولكن تعاني هذه الطريقة من اهمالها لقضية التسرب المائي seepage losses والتي تحدث خلافا بكل المتغيرات الأخرى.

أحواض التبخر Evaporation pans

وهي من أكثر الطرق شيوعا واسهلها. وتختلف هذه الأحواض في الابعاد والمواد وفي طرق التثبيت. فمنها ما يثبت فوق سطح الأرض ومنها ما يدفن في التربة ومنها ما يبقى ظاهرا على السطح. ولكل من هذه الطرق الثلاث محاسنها ومثالبها.

ويعد جهاز The U.S.A weather Bureal class A evaporation pan الأشهر في العالم، ويبلغ قطره 122 سم، وعمقه 25 سم ويرتفع عن الأرض مسافة تسمح بحرية مرور الهواء من حوله. ومن المعروف أن معدل التبخر من المسطحات الصغيرة يفوق تلك المعدلات من المسطحات الواسعة، لذلك أقترح لكل نوع من أنواع أحواض التبخر معامل خاص Coefficient فمثلا حوض British standard (Mo) المطور يتراوح المعامل بين (0.93 - 1.07)، أما حوض B.p.1 المعمور أفقيا فيتراوح المعامل ما بين (0.91 - 1.04)، ويصل معامل حوض Colorado المطمور الى (0.83)، وتراوح قيمة معامل class A بين (0.69 - 0.74).

أجهزة قياس التبخر الصغيرة Small Atmometers

نوع بيشي Piche type

هذه الأداة طورت من قبل بيتشي عام 1872، وهي عبارة عن أنبوب زجاجي يصل طوله الى 29 سم. ويقطر يصل الى 1 سم، ونهايته مفتوحة، ويملأ هذا الأنبوب بماء مقطر، ويقفل الجانب المفتوح منه بواسطة ورقة نشاف تثبت على تلك الفتحة بواسطة مربوط. ويعلق الجهاز بحيث تكون الفتحة المقفلة بورقة النشاف الى أسفل. علما بأن الانبوب مدرج، ونستطيع تقدير مقدار التبخر من خلال قراءة مستوى الماء على الانبوب المدرج.

ومن أهم مساوئ استخدام هذا الجهاز هي سرعة الرياح، ولهذا السبب يثبت هذا الجهاز داخل كشك ستيفنسون Stevenson Screen، ومن أهم محاسنه بساطته وسهولة تثبيته واستخدامه.

نوع ليفنجستون Livingston type

ويتكون من كرة بيضاء نفوذة Porous porcelain sphere مملوءة بالماء المقطر، تتصل بأنبوب يوصلها الى مستودع يزودها بالماء، ويوجد بهذا المستودع ترقيم يدل على مدى استهلاك تلك الكرة من مياه، نستدل بواسطتها على مقدار التبخر، ومن مساوئ هذا الجهاز هو لونها الأبيض، ثم تعرضها لتأثير الرياح، ولكنها سهلة الاستعمال وقرينة من نتائج Class A pan.

نوع بلاني Bellani type

ويتكون هذا الجهاز من قطعة بورسلين سوداء دائرية الشكل يصل قطرها 7.5سم. وتزود هذه القطعة بالمياه المقطرة من خزان يجعلها رطبة بشكل دائم، ويوجد صمام يمنع رجوع الماء الى الخزان اذا سقطت الأمطار على تلك القطعة. أو تكاثف الندى عليها. لكون تلك القطعة مكشوفة.

التبخر / النتح Evapotranspiration

النتح Transpiration عبارة عن ترك الماء النباتات الحية وبخاصة عن طريق الأوراق لتدخل الغلاف الجوي على شكل بخار ماء. أما التعريف الشامل للتبخر / النتح فهو: "مجمّل كميات المياه المستخدمة في عملية نمو النباتات في منطقة ما على شكل نتح أو بناء أنسجة تلك النباتات بالإضافة الى تلك المياه التي تتبخر من التربة المجاورة لها أو من الثلج المراكم، أو تبخر الأمطار المحتبسة على الأشجار بمنطقة ما بزمان محدود".

التبخر/النتح الكامن والحقيقي Potential and Actual-Evapotranspiration

potential evaporation (PE) التبخر الكامن هو عبارة عن كمية الرطوبة الآتية سواء من الرتبة أو من الجو على شكل تساقط والتي تكون كافية كل الوقت لامداد الغطاء النباتي بحاجته من الماء لغايات التبخر. وقد عرفه ثورنثويت بأنه عبارة عن كميات المياه المفقودة من قبل النباتات عندما لا تكون الرتبة تعالي من عجز مائي. ثم عرفه بنمان بأنه عبارة عن كمية المياه المتبخرة من مساحة ما مغطاة بمحصول قصير أخضر، يتمتع بنمو نشط، ويظل الأرض تظليلا كاملا ومتساوي الارتفاع ولا يعاني من نقص المياه.

كما هو واضح من التعريفات السابقة فإن عملية التبخر / النتح عبارة عن مفهوم مناخي نظري يبحث فالحصول الأخضر في بداية نموه لا يكون قد غطى جميع الرتبة، وعليه فإن كمية التبخر والنتح في هذه الحالة تتأثر بحجم النبتة وبكمية الاشعاع الشمسي وسرعة الرياح.

وتحت الظروف الطبيعية وبخاصة خلال فصل الصيف، فإن مقدرة الرتبة على تزويد النباتات بالرطوبة تكون غير كافية، ويمثل هذه الحالة فإننا لا نعتبر التبخر والنتح الكامن، لأن التبخر والنتح الحقيقي يهبط الى ما دون معدلات التبخر الكامن. وعليه فإن مقدار التبخر / النتح الحقيقي يمثل هذه الظروف يحدد بناء على مقدرة النباتات على استخلاص الماء من الرتبة، والتي تعتمد بشكل رئيسي على العمق، وكثافة الجذور، وعلى سرعة حركة المياه داخل مسامات الرتبة. وبسبب هذه العلاقات المعقدة، فإنه من الصعب جدا تقدير أو قياس مقدار التبخر / النتح الحقيقي اذا كان أقل من قيمة التبخر الكامن.

العوامل التي تؤثر في التبخر / النتج :

كما هو الحال بالتبخر فإن معدلات التبخر والنتج تتأثر بعدة عوامل مختلفة أهمها العوامل المناخية مثل : درجة الحرارة والاشعاع الشمسي وسرعة الرياح. وعوامل تخص النباتات مثل : حجم المسامات، ونوع النباتات ونموها وعوامل أخرى تخص ظروف الزبة كالسعة الحقلية ونقطة الذبول واللتان تتأثران ببعض الخصائص الطبيعية للزبة.

طرق تقدير كمية التبخر / النتج The estimation of Evapotranspiration

نظرا لتعدد العلاقات المختلفة بين العديد من العناصر الطبيعية التي تهيمن على عملية التبخر / النتج، فلا توجد حتى الآن معادلة استطاعت الوصول الى تقدير دقيق لمعدلات التبخر / النتج. حيث تركز معظمها على تقدير كمية التبخر / النتج الكامن أكثر من التبخر / النتج الحقيقي. ولذلك فقد أهملت العديد من العوامل النباتية في هذا المجال وتم التركيز على العوامل المناخية فقط. وقد بنيت جميع النماذج والمعادلات على الاساسين التي بنيت عليهما معادلات التبخر وهما : Exchange of energy , Turbulent Transfer أو بكليهما معا.

ومن الجدير بالملاحظة، أن جميع المعادلات المستخدمة في تقدير معدلات التبخر / النتج لا تعود أي منها الى عالم هيدرولوجيا، وإنما يعود معظمها الى علماء المناخ والفيزياء. ويعود السبب في ذلك كون الهيدرولوجي يهتم كثيرا بالمدد القصيرة الأجل (5 أيام، أسبوع، 10 أيام) لاستخراج معدلات التبخر / النتج فيهما، بعد أن يتم ربطها بمقدار التسرب، والجريان المائي ومستوى الماء

الجوي، بينما يهتم عالم المناخ بالمدد الأطول على مستوى الشهر أو السنة أو أكثر. ولذلك غالبا ما يستخدم الهيدرولوجي معادلة غير مناسبة لتقدير التبخر / النتح.

وتعد معادلة ثورنثويت وهولزمان **Thorntwaite and Holzman** أقدم المحاولات لتقدير معدلات التبخر من النباتات والربة والمسطحات المائية، حيث اصدروا أول معادلة لهم عام 1939، ثم عدلت معادلتهم عن طريق **Pasquill** عام 1949، 1950. ثم معادلة **Halstead** عام 1951 ثم معادلة **Crowe** عام 1957. كما طور كل من **Blaney** و **Cridle** عام 1950 و 1954 معادلة أخرى.

وقبل نصف قرن من الآن فقد استطاع **Thorntwaite** من الولايات المتحدة الأمريكية وبنمان **H. L. Penman** من بريطانيا تطوير معادلات خاصة لتقدير معدلات التبخر / والنتح، ما زالت تستخدم على نطاق واسع من قبل علماء الهيدرولوجيا وعلماء المناخ.

طريقة ثورنثويت The Thorntwaite Method

تم تطوير معادلة ثورنثويت عدة مرات خلال الفترة (1944 - 1954) الى أن وصلت الى ما هي عليه الآن، وهي الأكثر استخداما من قبل الجغرافيين. وتقوم المعادلة على حساب التبخر عن طريق استخدام درجة الحرارة فقط. وتنص معادلة ثورنثويت على ما يلي :

$$e = 1.6b (10t/I)^a$$

حيث أن :

$e =$ معدل التبخر الشهري بالاستمتر.

$t =$ معدل درجة الحرارة الشهرية بالدرجات المئوية.

$a =$ دالة للقرينة الحرارية، وتحسب وفق المعادلة التالية :

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.000071 I^2 + 0.01793I + 0.49239$$

$b =$ معامل تصحيح لعدم تساوي طول الأيام خلال الشهر الواحد،

وتتغير وفق درجات العرض حسب الجدول (1)

$I =$ قرينة سنوية لدرجة الحرارة وتتكون من مجموع اثني عشر قرينة

شهرية (i)

$$i = (t / 5)^{1.514}$$

حيث أن :

$t =$ معدل درجة الحرارة الشهري بالدرجة المئوية.

وتتميز هذه المعادلة بسهولة استخدامها نظرا لتوفير البيانات المناخية المتعلقة بتطبيقها، الا انه يؤخذ عليها اعتمادها المطلق على درجة الحرارة، وتأخر تقديراتها اليومية عن المسار اليومي والسنوي لدرجة الحرارة، فضلا عن الفواضه توقف عملية التبخر عند درجة الصفر، ثم عدم احتسابه لتأثير الرياح على عملية التبخر، وعدم دقة استخدامها في المناطق الجافة وشبه الجافة.

جداول ٤

القيم التي تستعمل في تعديل معدلات التبخر الشهورية في معادلة ثورثويت(١)

درجة العرض	كانون	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	أب	أيلول	تشرين	تشرين	كانون
٠	١٠٤	١٠٤	١٠١	١٠٤	١٠١	١٠٤	١٠٤	١٠١	١٠١	١٠١	١٠١	١٠٤
٥	١٠٢	١٠٣	١٠٣	١٠٢	١٠٦	١٠٣	١٠٦	١٠٥	١٠١	١٠٣	١٠١	١٠٢
١٠	١٠٠	١٠١	١٠٣	١٠٣	١٠٦	١٠٨	١٠٧	١٠٧	١٠٢	١٠٢	١٠٢	١٠١
١٥	٩٧	٩٩	١٠٣	١٠٤	١١١	١٠٨	١٠٢	١٠٨	١٠٢	١٠١	١٠١	٩٧
٢٠	٩٥	٩٩	١٠٣	١٠٥	١١٣	١١١	١١٤	١١١	١٠٢	١٠٠	١٠٠	٩٤
٢٥	٩٣	٩٩	١٠٣	١٠٦	١١٥	١١٤	١١٧	١١٢	١٠٢	٩٩	٩٩	٩١
٣٠	٩٢	٩٨	١٠٣	١٠٦	١١٥	١١٥	١١٧	١١٢	١٠٢	٩٩	٩٩	٩١
٣٥	٩١	٩٨	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٥	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٩	٩٩	٩٠
٤٠	٩١	٩٨	١٠٣	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٤٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٥٠	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٥٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٦٠	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٦٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٧٠	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٧٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٨٠	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٨٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٩٠	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠
٩٥	٩٠	٩٧	١٠٢	١٠٧	١١٦	١١٦	١١٨	١١٣	١٠٢	٩٨	٩٨	٩٠

(١) على موسس ١٩٧٨ ، المناخ الوطني (مكتب الأرصاد الجوية) ص ٩٣ .

معادلة بنمان : The penman method

تعتمد معادلة بنمان على كل من أسلوب توازن الطاقة وأسلوب ديناميكية الهواء، وهي الأكثر استخداماً عند تقدير معدلات التبخر من المسطحات المائية، وتنص المعادلة على ما يلي :

$$E = (\Delta / yH + Ea) / (\Delta / y + 1) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

$$E = \text{تمثل التبخر من المسطح المائي.}$$

$$\Delta = \text{درجة المحدار متحنى ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الحرارة المطلوبة (mm Hg./F)}$$

$$y = \text{ثابت معادلة السيكروميتر وهو يساوي 0.65.}$$

$$H = \text{الموازنة الحرارية للمسطح المائي.}$$

$$Ea = \text{وتمثل ديناميكية الهواء، ويمكن حسابها وفق المعادلة التالية :}$$

$$Ea = 0.35 (e_s - ed) (1 + U/100) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

$$e_s = \text{ضغط بخار الماء المشبع عند معدل درجة الحرارة المطلوبة (mmHg)}$$

$$ed = \text{ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة نقطة الندى.}$$

$$U = \text{سجل سرعة الرياح في اليوم بالميل على ارتفاع مترين عن سطح الأرض.}$$

أما (H) بمعادلة بنمان فيمكن حسابها من خلال المعادلات التالية :

$$H = A - B \text{ mm/day}$$

حيث أن:

$A =$ الاشعاع الشمسي قصير الموجة الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجودا.

$B =$ الاشعاع الشمسي طويل الموجة الذي يشع من الأرض.

ويمكن حساب كل منهما وفق المعادلات التالية :

$$A = (1-r) R_a (0.18 + 0.55n/N) \text{ mm/day}$$

$$B = QTa^4 (0.56 - 0.09 \sqrt{e_d})(0.10 + 0.90 n/N) \text{ mm/day}$$

حيث أن :

$R_a =$ الاشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجودا.

$r =$ معامل انعكاس الأشعة من السطح المعرض للتبخر.

$n =$ عدد ساعات الشمس الفعلي.

$N =$ عدد ساعات الشمس النظري.

$Q =$ ثابت ستيفن - بولتزمان.

$T_a =$ معدل درجة الحرارة المطلقة.

$e_d =$ ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة نقطة الندى.

وتتوفر في العديد من المؤلفات المناخية الجداول الخاصة بتقدير عدد من المتغيرات اللازمة لتطبيق هذه المعادلة وتم تطوير العديد من برامج الحاسوب لتقدير قيم التبخر من خلال معادلة بنمان، حيث وفرت تلك البرامج على الباحثين الوقت والجهد، وضمنت للنتائج الدقة. ورغم صعوبة تطبيق هذه المعادلة بالطرق الاعتيادية بسبب تعدد بياناتها وعدم توفر معظمها أحيانا، إلا أنها ما زالت تحتل المرتبة الأولى في شيوع استخدامها، وهي معتمدة رسميا من قبل سلطة المياه، ودائرة الأرصاد الجوية، وسلطة المصادر الطبيعية.

طرق قياس التبخر / النتج الحقيقي والكامن

سيتم التطرق الى نوعين من الأجهزة التي تقيس مقدار التبخر والنتج الحقيقي والكامن.

الأول : جهاز قياس التبخر / النتج Evapotranspirometers. والثاني جهاز اللايزيميل Lysimeters.

جهاز قياس التبخر / النتج : Evapotranspirometers

يمكن تقدير كميات النتج الكامنة عندما تكون رطوبة التربة غير محدودة بواسطة صناديق معزولة عن التربة الرطبة حيث يتم حساب موازناتها المائية. ويضم هذا الجهاز ثلاثة خزانات من الماء أو أكثر يملأ على الأقل اثنين منها بالتربة التي ستزرع نباتات طبيعية من نباتات المنطقة المحيطة، وترتبط خزانات التربة بخزان الماء الرئيسي بواسطة أنابيب، ويمكن للماء ان يدخل الى التربة الموجودة في الخزانات فقط من خلال الجو سواء كانت على شكل تساقط

طبيعي أو صناعي، ويمكنها أن تخرج مرة أخرى عن طريق المصارف أسفل تلك الصناديق. ومن خلال قياس الفرق بين الكميات التي تسربت الى أسفل وجمعت في خزان الماء وبين الكميات التي سقطت طبيعيا او صناعيا، تستطيع معرفة مقدار النتح / التبخر الكامن.

جهاز اللايزميتر Lysimeters

يقوم الجهاز السابق على مبدأ ابقاء ظروف السطح موحدة، من خلال الغطاء النباتي ومحتوى الرية من الماء لنتمكن من تحديد مقدار الفقدان الكامن بدقة. أما جهاز اللايزميتر فانه يعكس مقدار التبخر / النتح الحقيقي. ولتمييزه عن السابق فانه أكثر تمثيلا للبيئة المحيطة به من جميع النواحي وبخاصة الرية والنباتات الطبيعية. ولضمان دقة التقديرات فانه من الضروري الإبقاء على رطوبة الرية ضمن السعة الحقلية، حيث تكون امكانية استيعابه رطوبة أكثر قليلة، وبالتالي فان أي زيادة على السعة الحقلية مصيرها الجريان، الذي يسهل قياسه، ولستطيع من خلاله تقدير التبخر / النتح الحقيقي. والطريقة المثلى لقياس مقدار التبخر / النتح الحقيقي هو وزن اللايزميتر بصورة منتظمة.

ومن بين أشهر أجهزة اللايزميتر المستخدمة على نطاق واسع جهاز Coshocton الذي يقيس بدقة متناهية كمية التبخر / النتح الحقيقي الى مستوى من الدقة يصل الى 0.01 انش من الماء. وجهاز Slaidburn الذي أقيم قرب Slaidburn يوركشير Yorkshire. كما تشتهر هولندا بتعدد تلك الأجهزة حيث أنشئ أول جهاز فيها عام 1903 في منطقة الكيبان الرملية قرب leiduïn. ويعد الجهاز الذي أنشئ عام 1940/1941 شمال هولندا قرب

Castricum الأضخم في العالم، ويعد هذا الجهاز عن الشاطئ مسافة 2 كم وتبلغ مساحة خزاناته 25 متر مربع، ومجمّل مساحته تصل الى 625 متر مربع ويعمق يصل الى 2.5 متر، ويصل عددها ضمن هذه المنطقة الى أربعة أجهزة. ومن الجدير بالإشارة الى أن 32 جهازاً أقيمت قرب Wageningen ويزاوح عمق هذه الأجهزة ما بين 100-150 سم، ثمانية منها يحتوي تربة رملية و 120 جهازاً آخر تحتوي على تربة طينية. وما تبقى (12) تحتوي على الخث peat، وجميع هذه الأجهزة قابلة للوزن، أي بإمكاننا أن نقدر التبخر / النتج الحقيقي بواسطة الوزن. كما طور العلماء في عام 1963 في محطة للأبحاث National Vegetable Research Station قرب Wellesbourne بيوركشير جهاز سهل الاستخدام متواضع الأبعاد يسهل وزنه.

الفصل الثالث

الجريان Runoff

يمثل الجريان من منطقة معينة نتيجة متكاملة لكل العوامل الهيدرولوجية والميتورولوجية التي تعمل في حوض تصريف مائي. والجريان متغير كمي ليس من سنة لآخرى بل من فصل لآخر ومن يوم لآخر بل من ساعة لآخرى. انه ليس من الممكن تحديد تأثير مختلف العوامل من ناحية كمية على الجريان ولكن فهم عملية الجريان تسمح بتقييم العلاقات المتبادلة لمختلف العوامل.

ان أهم عامل يؤثر ويحدد كما ونوعا عملية الجريان هو المناخ من خلال عنصري الأمطار والتبخر بالإضافة الى عناصر أخرى هي عوامل مهمة مثل التربة والنبات.

يعبر عن الجريان عادة بوحداث قياس قدم مكعب في الثانية (Q.f.s.) أو متر مكعب في الثانية (Q.M.S.) الخ. ، والجريان من جهة أخرى يستعمل او يستخدم لقياس كمية الماء من اجل تقييم كمية الموارد المائية لأي منطقة.

مصادر الجريان : Sources of Streamflow

ينتجم الجريان عن الأمطار من خلال ثلاث مكونات :-

أولها الجريان الناتج عن الأمطار والثاني هو الثلج المذاب، ويعتبر هذا المصدر الأهم في الجبهات ذات المناخ البارد، ويشكل ما نسبته 30-40٪ من مجموع مياه الجريان، ويستمر تأثيره لعدة اشهر.

المصدر الثالث هو الماء الجوي وهو عبارة عن المياه التي تسربت من المصدرين الأول والثاني، ويستمر هذا المصدر في تزويد الماء الجاري طيلة أيام السنة.

عملية الجريان Steramflow Process

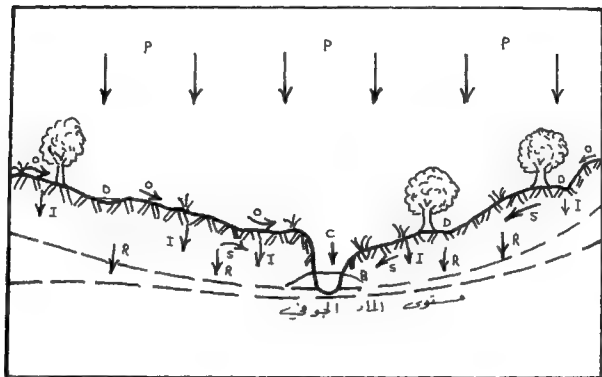
ان وصف عملية الجريان يمكن ان تعتمد على سؤال هو ماذا يحدث للأمطار عندما تصل الماء الجوي؟ هناك وصف شامل لهذه العملية وهي ما تعرف بالدورة المائية وهي على خمسة أشكال مرتبطة بشكل او بآخر بالأمطار.

القدرة السطحية Surface Retention

وهي الكميات المفقودة من عملية الجريان وذلك كنتيجة للاعراض Interception وانخفاض المخزون المائي، ان اثر الاعراض يكون واضحا بسبب وجود الأشجار والطبقة العضوية الناتجة عنها وذلك خلال عاصفة مطرية. حيث تعترض الأشجار والطبقة العضوية معظم المياه الساقطة من العاصفة المطرية، بينما يتم تبخر الجزء المتبقي منها. وفي بعض الحالات فان الأمطار الخفيفة في نفس المنطقة ربما لا يصل أي جزء منها الى الماء الجوي بسبب الاعراض، وطالما استمر سقوط المطر فان قدرة النبات على الاعراض تصبح اقل، وتصل مياه أكثر الى الماء الجوي او تتحول لتصبح على شكل جريان سطحي.

ان فقدان بسبب الاعراض متأثر بعوامل جوية كثيرة خاصة الرياح القوية خلال العاصفة المطرية والتي تعمل على تقليل كمية الاعراض وبما ان التبخر أثناء العاصفة المطرية يقل فان استمرار العاصفة المطرية يزيد من قدرة الاعراض للماء. ان قياس عملية الاعراض يتم بواسطة حساب مساحة المنطقة

المظللة من الشجرة او الغطاء النباتي ومقارنة كمية الاعتراض فيها مع منطقة أخرى خالية من الغطاء النباتي (شكل 20).



شكل (20) عملية الجريان:

P =	أمطار	S =	الماء تحت السطحي
V =	اعتراض	I =	تسرب
D =	تخزين منخفضات	R =	تعويس الماء الجوفي
O =	جريان سطحي	B =	تخزين الضفاف
C =	قنوات أمطار		

ان قياس الاعراض لماء المطر من قبل غابة متطورة يؤكد اعراض 20-40% من كمية الأمطار الساقطة في العاصفة المطرية الواحدة، ويعتمد ذلك أيضا على نوع الأشجار، ففي استراليا مثلا يعرض شجر اليوكالسيوس 2-3% فقط من كمية الأمطار اما أشجار الغابات في النرويج فتعرض حوالي 25% من كمية الأمطار، وبعض الأشجار في كاليفورنيا تعرض حوالي 40%.

وقد حدد هورتون Horton عملية الاعراض من خلال عاصفة هوائية واحدة على الشكل التالي.

$$I = a + bP^n$$

حيث ان I هي الاعراض و p هي الأمطار بينما a , b , n هي ثوابت لأنواع الأشجار وهي على الشكل التالي :

Vegetation	a	b	n
Orchards البساتين	0.04	0.18	1.00
Oak Woods البلوط	.05	.18	1.00
Maple Woods القيقب	0.04	0.18	1.00
Willow Shrubs الصفصاف	0.02	0.40	1.00
Hemlock and pine wood الصنوبر	0.05	0.20	0.50
Clover and Meado wgrass المروج	0.005	0.08	1.00
SambI grains , rye, wheat , barley الحبوب	0.05	0.05	1.00

كذلك وجد بأن اشجار الصنوبر تعرض ما نسبته 25% من مجموع التساقط الثلجي في السنة.

اما الأمطار الساقطة على الأرض وبعد ان يتم ترطيب التربة فان المياه تبدأ في الجريان على سطح الأرض في خيوط (مسيلات) مائية صغيرة لا تلبث ان تتحد في قنوات اكبر، وهكذا حتى تصل الى المجاري المائية الكبيرة، فتكون ما يعرف بالجريان المائي Surface Runoff.

الجريان المائي السطحي

يعرف الجريان السطحي Surface runoff بأنه كمية الأمطار التي تزيد عن قدرة امتصاص التربة نتيجة استمرار وزيادة كمية الأمطار عن معدلات التسرب والتبخر، اي بعد وصول التربة الى مرحلة ما بعد الاشباع، حيث يبدأ الماء بالجريان على سطح الأرض تبعاً لدرجة انحدار السطح، الى ان تصل المياه الى أحد المجاري المائية فيصبح جزءاً منه.

أما الجريان تحت السطحي Interflow فهو كمية محدودة من مياه الأمطار التي تسربت الى اسفل طبقة التربة والتي يمكن ان يوجد تحتها طبقة غير منفذة للماء Impermeable (صماء) او طبقة قليلة النفاذية، وبعد ان تتشبع تلك الطبقة بالماء، فان الماء يبدأ بالتحرك حسب ميل تلك الطبقة الى ان يخرج الى المجرى المائي.

كما يعرف الجريان الجوفي Ground water flow بأنه كمية من مياه الأمطار التي تتسرب الى الطبقات الحاملة للماء Aquifer ويخرج على شكل ينابيع بعد ان تتقاطع الطبقة الحاملة للماء الجوفي مع سطح الماء في المجرى المائي، ويطلق عليه وبخاصة في فصل الصيف جريان الأساس Baseflow.

محطات قياس التصريف المائي :

ان تطبيق العمليات الفنية من أجل الحصول على بيانات دقيقة عن الظواهر الهيدرولوجية المختلفة في حوض مائي معين، بحاجة لنقاط جغرافية معينة لتقوم بهذا العمل. وبما أن البيانات المائية مهمة لكافة النشاطات البشرية، فانه لابد من اقامة محطات رصد مائية على الأنهار للقيام بقياس مستويات الماء وكمياته وتذبذبها من فصل لآخر ومن سنة لأخرى، وذلك من أجل حساب الفائض أو العجز المائي في أراضى ذلك الحوض المائي وبالتالي في دولة معينة.

وتتكون المحطة عادة من مبنى خاص بالمحطة وأجهزتها، حيث تحتوي المحطة على الأجهزة الخاصة بالقياس والمعدات اللازمة للقيام بهذه المهمة بالإضافة الى ضرورة وجود فني مختص باجراء القياسات الضرورية. وتقام المحطات المائية عادة على الأنهار الدائمة الجريان لأن اقامة محطات رصد مائية على أودية مؤقتة الجريان هي في النهاية عملية غير مجدية من الناحية الاقتصادية.

وتسمى هذه المحطات بالمحطات الهيدرومترية وتسجل باستمرار التغير والتذبذب في المستوى المائي، والتصريف المائي، والعمق، والعرض، والفيضانات.... الخ في مقطع عرضي أو أكثر من ذلك على طول مجرى النهر.

والمحطة المائية المناسبة للدراسة والتحليل هي تلك المحطة التي توفر البيانات لمدة تزيد عن العشرين عاما. وكل محطة تتأثر وتواجه مجموعة من الصعوبات منها :

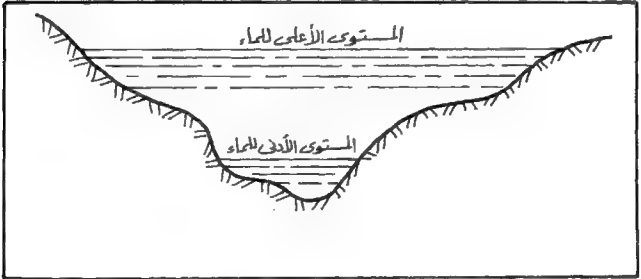
- التقارب الكبير للمشاريع المائية، مثل بحيرات السدود والجسور الضيقة وغيرها.
- عدم ثبات سرير النهر أفقيا وعموديا.

- غياب الحساسسية الهيدروليكية لتغيرات مستوى المقاطع العرضية التي تؤدي الى اختلاف في كثافة التصريف المائي.
 - صعوبة الوصول الى اقرب طريق للمواصلات.
 - وعند القيام بتوزيع محطات رصد التصريف المائي على روافد الشبكة المائية يجب أن يراعى ما يلي :
 - في المقاطع الطويلة والتي لا يمر فيها أحد الروافد المهمة يجب ان يكون الفرق بين محطتين متتاليتين في القراءة لموسط التصريف المائي مختلف بحوالي 20٪.
 - عند لقاء الروافد الرئيسية يجب أن يكون على الرافد الرئيسي نقطة قياس أو محطة مائية في الحوض الأعلى وأخرى قريبة من مصبه، ويجب أن يكون الفرق أيضا في قراءة التصريف بين المحطتين على الأقل 20٪.
 - من أجل تحديد موقع المحطة المائية فانها تعطى اسماً وغالبا ما يكون هذا الاسم هو اسم النهر نفسه او تعطى اسما يتناسب مع الاسم الجغرافي للمنطقة.
 - بالإضافة لما ذكر يجب أن يكون معروفاً مساحة حوض تصريف كل محطة مائية.
 - تضاف المساحة الموجودة بين كل محطة مائية وأخرى لمعرفة مجموع مساحة الحوض.
 - تحسب كثافة المحطات في الدولة بقسمة عدد المحطات على مساحة الدولة.
- ففي بلد مثل رومانيا والتي تبلغ مساحتها 237.5 ألف كم² يوجد 765 محطة مائية لنهر الدانوب وروافده، فتكون كثافة المحطات في هذا الدولة كالتالي:
- $$ك = \frac{7665}{237500} = \frac{1}{322}$$
- أي أن هناك محطة مائية لكل 322 كم² في هذه الدولة.

قياس مستوى التيارات المائية السطحية :

تعني كلمة مستوى الماء، منسوب أي نقطة على سطح الماء الجاري في وقت معين بالنسبة لسطح البحر، ويقاس مستوى الماء في المخطط المائية من خلال قامة مدرجة مثبتة عند محطة القياس (الشكل 21).

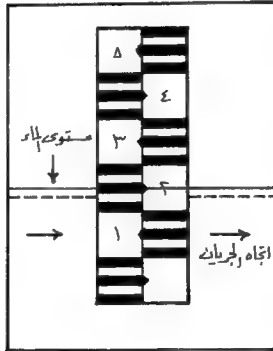
حيث ان خط الماء الحر في المقطع يجب أن يكون أفقياً، مع انه لا يكون كذلك دائماً، ومصطلح مستوى Level و مصطلح عمق Depth هما مصطلحان مختلفان لأن العمق له علاقة مع شكل السرير، بينما يمكننا أن نحصل على قيم متعددة للعمق في مقطع عرضي واحد للماء او لمستوى واحد للتيار المائي (الشكل 21).



شكل (21) تغير مستوى الماء في الجرى المائي

- الشاخصة المائية :

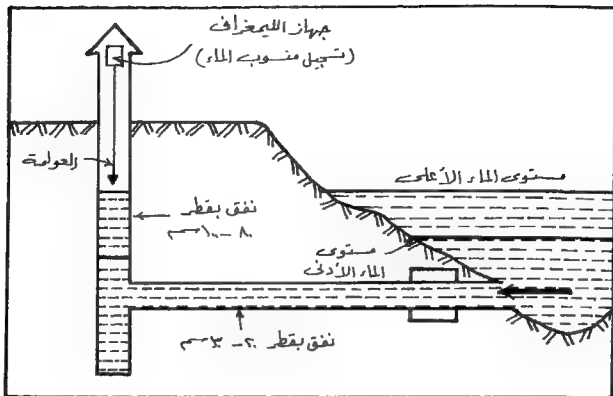
وهي تشبه الى حد كبير الشاخصة الطبوغرافية. والشاخصة المائية البسيطة مكونة من صفائح من المعدن مقسم من 2-2 سم وأكثر من مؤشر للاسم، وتثبت الشاخصة المائية في وسط تيار الماء العادي بحيث لا تؤدي الى تغيير في مجرى التيار المائي أو الى حدوث دوامات مائية تؤدي الى تغير في اتجاه الماء، ويجب أن يكون وضعها ثابت لا يتغير خلال الفترة التي تبقى فيها الشاخصة في المجرى المائي. (الشكل 22).



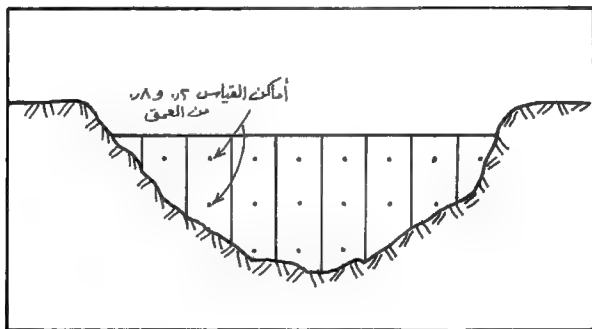
شكل (22) الشاخصة البسيطة لقياس مستوى الماء الجاري

- جهاز تسجيل منسوب سطح الماء في المجرى:

يستعمل جهاز تسجيل منسوب سطح الماء (الليمنجراف (Limnigraf) لمعرفة تغير مستوى سطح الماء في مجرى النهر، يوضع جهاز الليمنجراف في غرفة (كابينة) صغيرة خاصة وذلك لحمايته من العوامل الجوية والعبث من قبل الآخرين، ويتم حفر نفقين الأول عمودي بقطر 80 سم - 100 سم بحيث يوضع جهاز الليمنجراف فوقه تماماً، ويتصل هذا النفق العمودي بنفق أفقي يتصل بمجرى النهر بقطر 20-30 سم ويكون هناك خزان مائي بعد طرف المجرى يتم تنظيف النفق من أي رواسب تدخل إلى النفق فتعيق دخول الماء وبذلك يبقى ماء النهر متصلاً بالنفق العمودي عن طريق النفق الأفقي. وحسب قانون الأواني المستطرقة فإن مستوى الماء في النفق العمودي سيكون على نفس مستوى الماء في مجرى النهر، وينزل من جهاز الليمنجراف عوامة Float حساسة لتغير مستوى الماء فيرتفع مع ارتفاع مستوى الماء وتنخفض مع انخفاضه. وهذه العوامة مرتبطة بورقة مليمترية تدور على بكرة مرتبطة بساعة وبوجود مؤشر محبّر باستمرار. ونتيجة دوران البكرة ذات الورقة المليمترية يتم رسم خط بياني كل 24 ساعة، ويمثل تغير منسوب سطح الماء خلال اليوم. وفي اليوم التالي يتم تبديل الورقة المليمترية وتحليل الخط البياني وتسجيله كبيانات رقمية. (الشكل 23)



شكل (23) جهاز قياس تغير مستوى الماء (الهيمنجراف)



شكل (24) أماكن قياس سرعة الماء في الجرى

قياس سرعة الجريان المائي :

يتم تقسيم المجرى المائي الى مقاطع عرضية متساوي ويتم انزال جهاز قياس سرعة التيار المائي في اماكن القياس وهي على عمق 0.2 و 0.8 من العمق الكلي في كل مقطع عرضي، وبحسب متوسط سرعة جريان الماء في كل مقطع عرضي على أساس معدل سرعة التيار على العمق الأول والثاني (شكل 24). وتقاس سرعة الماء بواسطة جهاز الـ Current meter (شكل 25).

قياس التصريف المائي :

يتكون النظام النهري من مجموعة من العناصر هي التصريف (Q) Discharge المنسوب level والانحدار slope وسرعة الماء Vilocity. والتصريف المائي هو كمية الماء المارة من مقطع عرضي معين في مجرى النهر خلال زمن مقداره ثانية واحدة ومقدرًا بالمز المكعب او القدم المكعب. أما المنسوب فهو ارتفاع الماء في النهر ويقدر بالمز او بالسم. وتقدر سرعة الماء بالمز/ث. والانحدار النهري هو الفرق بين مستوي نقطتين على سطح الماء في مجرى النهر.

ويقاس التصريف النهري عادة كما في المعادلة التالية :

$$Q = VW$$

حيث أن:

$$Q = \text{التصريف م}^3 / \text{ث.}$$

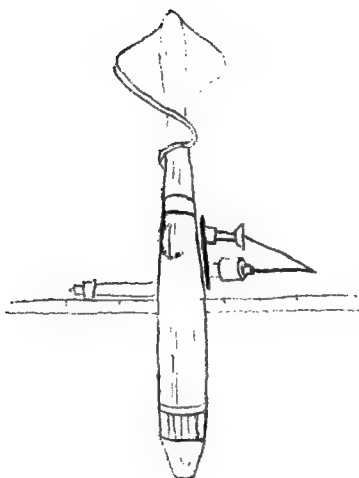
$V =$ سرعة الماء.

$W =$ مساحة المقطع العرضي للمجرى النهري.

خطوات قياس التصريف المائي :

يتكون جدول التصريف المائي من العناصر التالية.

1. البعد عن نقطة البداية عند ضفة النهر/ Distance from initial point/m
2. العرض / م، حيث يتم تقسيم المقطع العرضي للنهر الى مقاطع عرضية متساوية Wedth.
3. العمق/م، يتم قياس العمق لكل نقطة عرض تم تحديدها depth.
4. يتم استخراج عدد الدورات وزمنها بالتوالي لاستخراج السرعة المعدلة وذلك من خلال جهاز قياس السرعة.
5. يتم استخراج السرعة م/ث. من خلال جدول خاص يسمى بجدول (ON ROD)
6. يتم حساب مساحة كل مقطع عرضي من خلال ضرب العرض في العمق.
7. يتم استخراج التصريف المائي لكل مقطع عرضي جزئي وذلك بضرب السرعة المعدلة في المساحة.
8. يتم جمع مساحة المقاطع العرضية الجزئية لاستخراج مساحة المقطع العرضي الكلي للنهر.
9. يتم جمع كميات التصريف المائي للمقاطع العرضية الجزئية لاستخراج التصريف المائي الكلي للنهر.



شكل (25) جهاز قياس سرعة الماء

ON ROD (فيسود)

[illegible]

مثال : نهر (X) تم قياس مقطعه العرضي فوجد بأنه 10م، ثم نقوم بالخطوات السابقة ذكرها كما هو في المثال التالي :

البعد عن نقطة البداية/م	العرض م	العمق م	عدد الدورات	الوقت/ ث	السرعة المعدل/ث	المساحة م ²	تصريف الماء/ث
Distance from initial point /m	width/m	Depth/ m	Revolution	Time/ second	Adjust velocity m/s	Area /m ²	Discharge m ³ /s
0.00	0.5	—	—	—	—	—	—
1.00	1.00	0.30	20	55	0.248	0.30	0.0744
2.00	1.00	0.55	20	58	0.236	0.50	0.12998
3.00	1.00	0.70	20	63	0.219	0.70	0.1533
4.00	1.00	0.85	20	70	0.197	0.85	0.16745
5.00	1.00	1.05	20	70	0.197	1.05	0.2068
6.00	1.00	1.05	20	70	0.197	1.05	0.2068
7.00	1.00	0.80	20	55	0.248	0.80	0.1984
8.00	1.00	0.45	20	55	0.248	0.45	0.1116
9.00	1.00	0.20	20	53	0.257	0.20	0.0514
10.00	1.00	0.10	20	53	0.257	0.10	0.0257
						6.00	1.3256

ويبدو من خلال الجدول السابق (X) أن التصريف المائي للنهر = Q

1.325 م³/ث، وأن مساحة المقطع العرضي للمجرى المائي هو 6م².

العلاقة بين المطر والجريان المائي Rainfall Runoff correlation

لا تعتبر العلاقة بين المطر والجريان المائي مباشرة، فهي علاقة غير مباشرة بعكس العلاقة بين الجريان وكل من التبخر والاعتراض *Interception* وخزن المنخفضات والرشح ونقص رطوبة التربة فهي علاقة مباشرة. ويمكن إقامة علاقة تجريبية *Imperical* للحوض النهري مبنية على أساس التساقط السنوي والجريان، ومن الأفضل هنا استعمال السنة المائية بدلا من السنة التقويمية لإقامة هذه العلاقة والسنة المائية هي الفترة التي يبدأ فيها جريان الأساس وتنتهي خلال اثني عشر شهرا.

توجد بعض المعادلات التي وضعها بعض الباحثين توضح العلاقة التجريبية بين التصريف المائي للأنهار (Q) وبين كمية الأمطار الساقطة (P)، كما يلي :

$$Q = 16 P^2 \quad -1$$

$$Q = 0.48 (P - 635) \quad -2$$

$$Q = 043 (P - 386)^2 \quad -3$$

اما معامل الجريان فيمكن ايجاده عن طريق نسبة التصريف المائي الى كمية الأمطار الساقطة كما في المعادلة التالية :

$$a = \frac{Q}{P}$$

حيث أن:

a = معامل الجريان.

Q = كمية التصريف المائي.

p = كمية الأمطار السنوية.

وفي حالة الأحواض المائية الصغيرة يمكن استخدام معامل الجريان كما في المعادلة التالية :

$$a = \frac{Q}{P} = \frac{P - E}{P} = 1 - \frac{E}{P}$$

حيث أن:

a = معامل الجريان.

Q = التصريف المائي.

P = تساقط

E = تبخر

وإذا ما أخذنا جميع عناصر الجريان المائي الرئيسية فإن كمية التصريف يمكن حسابها كما في المعادلة التالية :

$$Q = P - I - S$$

حيث أن:

Q = التصريف المائي م³/ث.

P = كمية الأمطار ملم/ سنة.

I = الرشح السنوي.

S = كمية المياه الخزونة مضاف إليها التبخر.

أساليب تحليل البيانات الهيدرولوجية :

قبل الخوض في تحليل البيانات الهيدرولوجية لابد من التعرف على

عناصر متحنى تصريف الماء الطبيعي Components of a natural

hydrograph. فجريان الأساس مرتبط بإسهام المياه الجوفية في جريان النهر.

ويشبهه منحنى التصريف المائي بشكل عام للجريان المنحني الأسّي
Exponential curve ويمكن تمثيله في المعادلة التالية :

$$QE = Q_{oe-at}$$

حيث أن:

$$Q_0 = \text{التصريف في فترة البداية.}$$

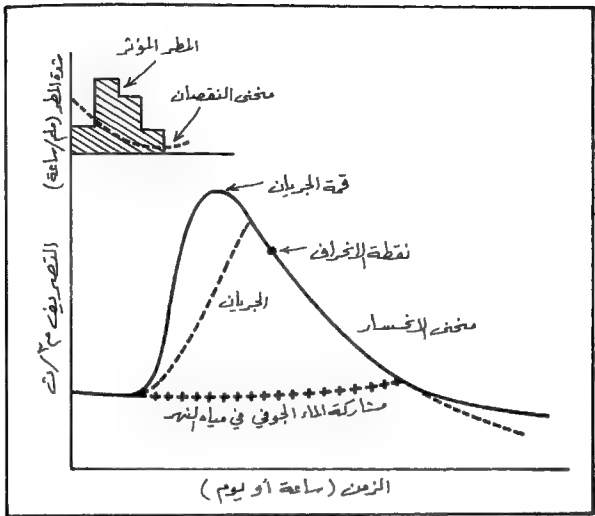
$$Q_E = \text{التصريف في نهاية الوقت } t$$

$$a = \text{معامل الجريان.}$$

$$e = \text{أساس اللوغاريتم الطبيعي.}$$

ففي حالة عاصفه مطرية تبدأ عناصر الاعتراض Interception بالتأثير على الماء الجاري قبل أن يصل الى قنوات الأودية ومن ثم الأنهار، لكن ومع استمرار سقوط الأمطار فإن عملية الاعتراض سوف تأخذ في التناقص تدريجياً.

بعد فقدان كمية من المياه نتيجة عملية الاعتراض في بداية العاصفة المطرية يبدأ الجريان السطحي ويستمر في الزيادة الى أن يصل الى اللروة ثم يبدأ المنحنى بالانحسار حتى يختفي. لكن الأمطار التي تسربت (رشحت) الى الماء الجوفي ستعمل على رفع مستوى الماء الجوفي الذي يساهم بدوره في رفع كمية جريان الأساس في نهاية العاصفة المطرية أكثر من بدايتها. فاهيلدوغراف يعرف بأنه المنحنى البياني الناتج عن توقيع البيانات الدالة على تغير التصريف Discharge، او تغير مستوى سطح الماء مع الزمن (شكل 26).



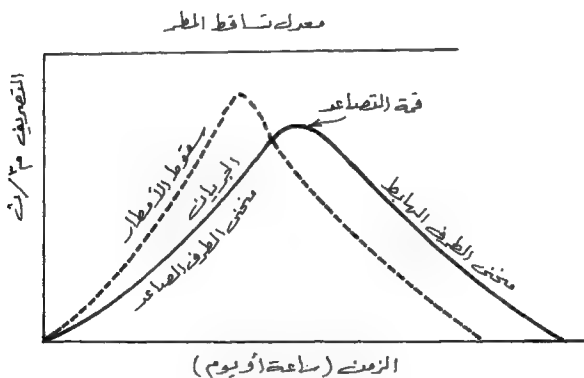
شكل (26) عناصر منحنى الجريان المائي

ويسمى الجزء من المنحنى الناتج عن الجريان السطحي والباطني بمنحنى الجريان المباشر **Direct Run off Hydrograph** ويمكن اختصارها على النحو التالي: **DRH** ويساعد وصول هذا الماء المباشر في صعود المنحنى حتى يصل الى الذروة. ويعتمد ذلك على نسبة اقصر تصريف مائي الى شدة سقوط المطر وديمومته (فترة سقوط المطر)، كما يعتمد أيضا على الخصائص الطبيعية لمنطقة سقوط الأمطار.

تبعاً لما تقدم فان سقوط المطر سيصل الى ذروته في نهاية العاصفة المطرية وبعد ذلك تبدأ الأمطار بالانحسار ويبدأ منحنى التصريف بالهبوط تبعاً لهبوط كميات الأمطار (شكل 26).

وبناء على ذلك يمكن القول بأن شكل المنحنى يتحدد بثلاثة أجزاء رئيسية هي :

1. الطرف الصاعد Rising Limb من المنحنى ويدعى أحياناً بمنحنى التركيز Concentration curve ويعبر عن الفترة الزمنية التي حدث خلالها تجميع المياه وجريانها الى أن تصل الى أعلى مستوى لها (شكل 27).
2. قمة المنحنى Crest Segment يوضح هذا الجزء من المنحنى منطقة تجميع وتراكم المياه والفترة الزمنية التي وصل فيها التركيز (الجريان) الى أعلى مستوى له (شكل 27)
3. الطرف الهابط من المنحنى Falling Limb ويعبر عن بداية تناقص الجريان والفترة الزمنية التي تم خلالها ذلك التناقص الى أن يصل الجريان الى مستوى جريان الاساس (شكل 27).



شكل (27) مكونات منحنى الجريان المائي

تحليل التصريف المائي :

يتذبذب التصريف اليومي للأنهار بشكل واضح، وذلك اعتماداً على تذبذب كميات الأمطار بين شهر وآخر وسنة وأخرى، كما يعتمد على تذبذب تدفق المياه الجوفية المشكلة لمنابع الأنهار. وإذا كان النهر يقع في إقليم يتوقف فيه سقوط الأمطار في الصيف، فإن التصريف اليومي يتساوى مع تصريف الأساس إلا أنه يتغير في بقية الفصول.

يقسم التصريف المائي الى ثلاثة أقسام رئيسية هي :

1. جريان الأساس Base flow

2. تصريف المعدل اليومي للجريان Daily main flow

3. تصريف الفيضان Flod flow

تصريف الأساس أو تصريف الشح Base Flow Discharge :

يعتبر تصريف الأساس ظاهرة طبيعية للأودية ذات التصريف الدائم، وهو تصريف ذو طبيعة متذبذبة، لأنه يعتمد على تذبذب مستوى الماء الجوفي . Water Table

ففي حالة وادي الموجب (على سبيل المثال) نجد أن تصريف الأساس يبقى المغذي الوحيد لجريان المياه في فترة طويلة تمتد من شهر نيسان وحتى شهر تشرين أول أو تشرين ثاني. أي أن هناك فترة جفاف طويلة تمتد لستة أشهر سنوياً على الأقل، وأحياناً تمتد فترة الجفاف لثمانية أشهر. بالإضافة الى أن قسماً

كثيراً من أراضي الحوض (حوالي 60٪) تقع ضمن المنطقة الصحراوية القليلة الأمطار أصلاً. حيث بلغ المعدل السنوي للأمطار في محطة القطرانة 97 ملم. بينما تصل نسبة المنطقة التي تهطل فيها أمطار أقل من 250 ملم حوالي 79٪ من أراضي الحوض. ونظراً لقلّة الأمطار فإن تأثيرها يصبح أكثر وضوحاً عند مقارنة تصريف الأساس مع معدل التصريف اليومي، حيث يتساوى كلا التصريفين في أشهر حزيران وتموز وآب وأيلول. إلا في بعض الحالات النادرة حيث تتعرض المنطقة إلى تدبذب في وقت هطول الأمطار وكمياتها.

وبما أن مياه الأمطار ترفع من مستوى النطاق المائي في فصل الشتاء، فإن التصريف المائي يزداد في كل من كانون ثاني وشباط وآذار وذلك نظراً لأن مياه الأمطار التي رفعت مستوى النطاق المائي أدت إلى زيادة غزارة مياه الينابيع.

ويزداد معدل تصريف الأساس منذ شهر تشرين أول وحتى شهر آذار على التوالي للسنة المطرية كما يلي: 0.062، 0.098، 0.187، 0.238، 0.226، 0.233 ويعود تصريف الأساس بعد ذلك للانخفاض في شهر نيسان إلى 0.196 وإلى 0.192 في شهر أيار وهكذا يوالي تصريف الأساس انخفاضه حتى يصل إلى 0.057 م³/ث في شهر أيلول. (جدول 3).

وبينما يبلغ معدل تصريف الأساس لسنوات الدراسة 0.143 م³/ث فإن أعلى تصريف أساس يبلغ 2.37 م³/ث. ومعدل أدنى تصريف أساس 0.019 م³/ث كما أن أعلى معدل لتصريف الأساس بلغ 0.67 م³/ث في شهر كانون أول للسنة المائية 73/72. (جدول 3).

وقد تراوح الانحراف المعياري لتصريف الأساس بين 0.04 في شهر أيلول و 0.32 في شهر أيار حيث يزداد الانحراف المعياري تدريجياً من الخريف وخلال أشهر الشتاء وحتى نهاية فصل الربيع. (جدول 3).

أما معامل التغير فقد سجل أعلى قيمة له في شهر تموز حيث وصل 187%، ووصلت أقل قيمة له في شهر تشرين ثاني، ومن الملاحظ أن معامل التغير يكون معتدلاً منذ نهاية الخريف وحتى نهاية الربيع تقريباً، بينما يكون مرتفعاً في أشهر الصيف.

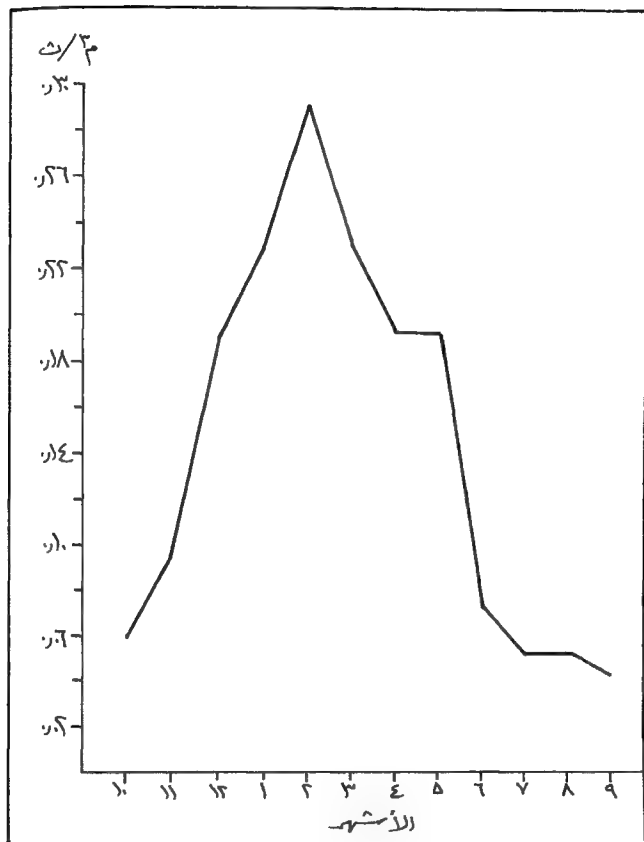
كما يبلغ تصريف الأساس أعلى قيمة له في فصل الشتاء $0.651 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، بينما ينخفض الى $0.621 \text{ م}^3/\text{ث}$ في فصل الربيع ويتناقص الى الثلث تقريباً في فصل الصيف ليصبح حوالي $0.626 \text{ م}^3/\text{ث}$ بينما في فترة الشح (فصل الخريف) يصل تصريف الأساس الى أدنى مستوياته حيث يبلغ $0.18 \text{ م}^3/\text{ث}$. (شكل 28)، (جدول 3).

جدول رقم (3)

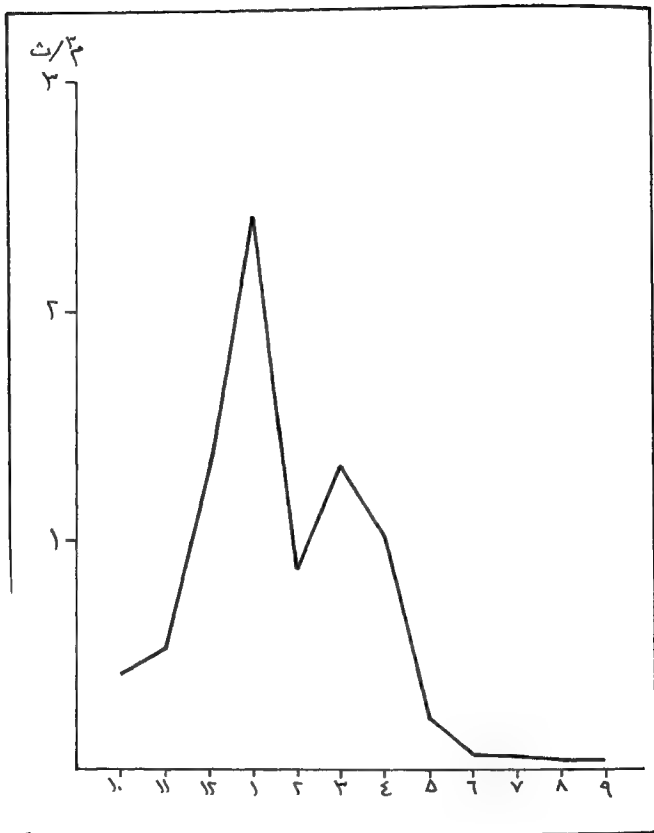
معدل تصريف الأساس لوادي الموجب خلال الفترة (65/64 - 92/91) م³/ث

شهر سنة	١٠	١١	١٢	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
١٩٦٥/٦٤	٠.٠٠	٠.٠٦	٠.١٣	٠.٢٧	٠.٢٢	٠.٢٣	٠.١٤	٠.١٠	٠.١٠	٠.٠٨	٠.٠٥	٠.٠٠
١٦/٦٥	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٢٦	٠.٠٦	٠.٢٦	٠.٢٥	٠.١٨	٠.١٥	٠.١٠	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.١٢
١٧/٦٦	٠.٣٩	٠.٦٠	٠.٥٤	٠.٢٦	٠.٣٦	٠.٦٤	٠.٢٣	٠.١٤	٠.١٢	٠.١٣	٠.١٦	٠.١٦
١٨/٦٧	٠.١٧	٠.٢٨	٠.٢٢	٠.٣٤	٠.٣٥	٠.٣٦	٠.٢٣	٠.٢٠	٠.١٠	٠.٠٧	٠.٠٣	٠.٠٢
١٩/٦٨	٠.٠٠	٠.١٦	٠.٢٥	٠.٢٤	٠.٢٠	٠.٢٠	٠.٢٢	٠.٢٦	٠.٠٤	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٢٠/٦٩	٠.٠٦	٠.١٦	٠.١٧	٠.٢٠	٠.١٥	٠.١٧	٠.١٣	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠١	٠.٠٠	٠.٠٠
٢١/٧٠	٠.٠٧	٠.١٦	٠.٢٢	٠.٣٤	٠.١٦	٠.١٧	٠.٤٨	٠.٤٥	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٥
٢٢/٧١	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٥٤	٠.٥٣	٠.٢٧	٠.١٢	٠.٣١	٠.٢٠	٠.٠٢	٠.٠٦	٠.٠١	٠.٠١
٢٣/٧٢	٠.٠٦	٠.١٦	٠.٢٧	٠.٤٨	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٦	٠.١٠	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٤
٢٤/٧٣	٠.٠٣	٠.١٦	٠.٠٦	٠.٢٧	٠.٢٨	٠.٢٦	٠.١٧	٠.١٥	٠.١٢	٠.١٢	٠.٠٧	٠.٠٧
٢٥/٧٤	٠.٠٠	٠.٠٧	٠.١٦	٠.٢٦	٠.٢٦	٠.٢٦	٠.٢٠	٠.١٠	٠.٠٥	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٦
٢٦/٧٥	٠.٢٠	٠.٢٠	٠.٢٠	٠.٢٠	٠.٢٨	٠.٢٦	٠.١٦	٠.١٣	٠.١٠	٠.١٠	٠.٠٨	٠.٠٨
٢٧/٧٦	٠.٠٩	٠.١٢	٠.١٧	٠.٢٣	٠.١٩	٠.١٣	٠.١٨	٠.١٦	٠.١٢	٠.٠٩	٠.٠٧	٠.٠٩
٢٨/٧٧	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.١٢	٠.١٣	٠.١٥	٠.١٧	٠.١٤	٠.١٣	٠.١٠	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٨
٢٩/٧٨	٠.٠٩	٠.١٠	٠.١١	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١١	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٤
٨٠/٧٩	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٢٣	٠.٢٣	٠.٢٦	٠.٢٨	٠.١٧	٠.٠٤	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٨١/٨٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.١٦	٠.١٣	٠.١٧	٠.٢٢	٠.٠٦	٠.٠١	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٨٢/٨١	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.١٦	٠.١٦	٠.١٦	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٨٣/٨٢	٠.٠٠	٠.٠٨	٠.٢٠	٠.٢٦	٠.٢٩	٠.١٩	٠.٠٦	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٨٤/٨٣	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.١٦	٠.١٦	٠.٢٧	٠.٤٥	٠.٢٣	٠.٢٣	٠.١٨	٠.١٣	٠.٠٨	٠.٠٦
٨٥/٨٤	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٥٤	٠.٥٩	٠.٥٨	٠.٤٦	٠.٢٢	٠.١١	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٥
٨٦/٨٥	٠.٠٠	٠.٠١	٠.١٤	٠.١٧	٠.١٨	٠.١٧	٠.١٦	٠.١٦	٠.١١	٠.٠٨	٠.٠٥	٠.٠٥
٨٧/٨٦	٠.٠٠	٠.١٦	٠.١٦	٠.١٠	٠.٠٩	٠.١٥	٠.١٨	٠.١٤	٠.١٢	٠.٠٩	٠.٠٧	٠.٠٧
٨٨/٨٨	٠.٠٩	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٢	٠.١٠	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.٠٨
٩٠/٨٩	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.١٦	٠.١٩	٠.١٨	٠.٠٣	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠	٠.٠٠
٩٢/٩١	٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٤	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢
المجموع	١.٦٩	٢.٦٦	٢.٤٢	٦.١١	٦.٣٦	٥.٢٨	٥.١٩	١.٩٥	١.١٣	١.٥٤	١.٥٤	١.٥٤
التحريك المعياري	٠.٠٠	٠.١٦	٠.١٣	٠.١٦	٠.١٦	٠.١٢	٠.١٢	٠.٠٦	٠.٠٦	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.٠٤
معدل التغير Z	١٣٣	١٢	٨٤	٥٦	٤١	٥٢	٦٣	١٦٨	٦٦	١٨٧	١٨٠	١٠٠

* لم يتم تسجيل التصريف منذ العام المالي ٩٢/٩١ وحتى ٩٦/٩٥م.



شكل (28) تصريف الأساس



شكل (29) التصريف اليومي

التصريف اليومي Daily Mean Discharge :

يعتمد كل من التصريف الشهري والتصريف الفصلي على معدل التصريف اليومي والذي بدوره يعتمد على تصريف الأساس لوادي الموجب، مضافا اليه كميات الأمطار الهاطلة على الحوض والتي تصل مجرى النهر مباشرة عن طريق الجريان المباشر Runoff دون دخولها الى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.

ولهذا فان معدل التصريف اليومي يتساوى مع تصريف الأساس لوادي الموجب في أشهر حزيران وتموز وآب وأيلول (جدول 3، 4). بينما يبدأ الجريان المائي يتضح منذ شهر تشرين أول حيث يبدأ هطول الأمطار على مناطق مختلفة من أراضي الحوض.

يظهر أثر جريان مياه الأمطار ووصولها لمجرى وادي الموجب وارتفاع مستوى الماء الجوفي الذي يساعد في زيادة كمية التصريف لفترة تتعدى فصل الشتاء أحيانا، حيث يستمر تدفق مياه الينابيع التي تشكل فيما بعد مجمل الجريان طيلة أشهر فصل الربيع تقريبا، رغم أن فترة هطول الأمطار تكون قد انتهت تقريبا، أو أن كميات الهطول التي تحدث في أوائل فصل الربيع تكون بكميات قليلة مقارنة بفصل الشتاء مما يقلل من أثرها على التصريف اليومي لمياه الموجب.

يلعب معدل التصريف اليومي لوادي الموجب $0.693 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، وهذا يعني أنها تزيد عن معدل تصريف الأساس لنفس الفترة بمقدار $0.550 \text{ م}^3/\text{ث}$. وهي كمية مياه لا بأس بها نسبياً، وتقدر سنوياً بـ 17.345 مليون متر مكعب، في

حين أن كمية المياه التي يصرفها وادي الموجب تقلر بـ 24.92 مليون متر مكعب سنويا. ويتراوح الحد الأدنى للتصريف اليومي لوادي الموجب في أشهر الصيف بين 0.00 و 0.01 م³/ث، بينما يصل أقصى تصريف يومي له في شهر آذار اذ بلغ 9.36 م³/ث. (شكل 29) (جدول 3).

وبالنظر الى الشكل (29) نجد أن معدل التصريف اليومي الخفض في شهر شباط بشكل حاد (0.09 م³/ث) ثم عاود الارتفاع بشكل واضح في شهر آذار ليصل الى 1.39 م³/ث، ويعود السبب في ذلك الى حدوث المنخفضات الخماسينية في هذا الشهر وباستمرار مما يعمل على زيادة التصريف اليومي بشكل واضح حيث وصل التصريف اليومي في 1988/3/8 الى 212.25 م³/ث وفي يوم 1988/3/4 الى 67.92 م³/ث بينما كان أعلى تصريف يومي في شهر شباط من العام نفسه هو 19.6 م³/ث في يوم 1988/2/2، وهكذا اذا نظرنا الى البيانات الاحصائية هذين الشهرين لوجدنا هذا التناقص الناتج عن منخفضات البحر الأحمر التي تزيد من التصريف اليومي لوادي الموجب.

أما اذا أخذنا معدل التصريف اليومي لكل فترة الدراسة، فإن أدنى تصريف لوادي الموجب يصل الى 0.039 م³/ث في شهر أيلول و 0.04 م³/ث في شهر آب و 0.05 م³/ث في شهر تموز. ويزيد معدل التصريف اليومي في أشهر الشح أحيانا (فصل الخريف) على معدل التصريف اليومي لأشهر الصيف، وذلك لسقوط أمطار غزيرة أحيانا تؤدي الى حدوث فيضان وترفع من معدل التصريف اليومي ففي شهر تشرين أول عام 1966 بلغ معدل التصريف اليومي لذلك الشهر 3.01 م³/ث، بينما لم يتم تسجيل أي تصريف يذكر خلال هذا الشهر في سبع سنوات من فترة الدراسة. ولكون أشهر الصيف لا تهطل فيها أمطار، فإن التصريف المائي اليومي فيها أقل من أشهر فصل الخريف.

المعدل اليومي لتصرف وادي الموجب خلال الفترة (64/65 - 91/92) م³/ث

[illegible]

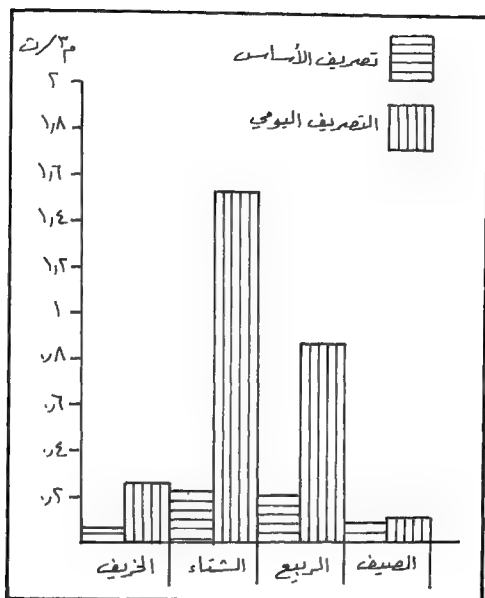
* لم يتم تسجيل التصريف منذ العام المالي ٩٢/٩١ وحتى ١٩٩٦/٩٥ م.

أما التصريف الفصلي لمياه وادي الموجب، فيظهر فيه الاختلاف واضح جداً، حيث نجد أن أعلى كميات تصريف تسجل في فصل الشتاء بمعدل 1.75 م³/ث، بينما ينخفض التصريف الفصلي في فصل الربيع إلى 0.85 م³/ث ثم في الخريف إلى 0.26 م³/ث، بينما يسجل فصل الصيف أدنى تصريف لوادي الموجب حيث يبلغ 0.11 م³/ث فقط. (جدول 5) (شكل 30).

ومن خلال الجدول (4) يتبين أن أكثر السنوات المائية رطوبة كانت السنة المائية 1965/64 حيث سجل أعلى حجم تصريف مائي فيها، إذ وصل إلى 11.76 م³/ث، تلتها السنة المائية 88/87 والتي بلغ فيها حجم التصريف المائي 68.24 م³/ث ثم السنة المائية 72/81 حيث بلغ حجم التصريف فيها 59.08 م³/ث وسنة 71/70 وبلغ فيها حجم التصريف السنوي لوادي الموجب 57.6 م³/ث.

بينما سجلت كميات قليلة في سنوات الجفاف، ففي عام 1991/90م سجل أقل معدل تصريف سنوي خلال فترة الدراسة وصل إلى 1.45 م³/ث، وسنة 83/82 بلغ فيها حجم التصريف 3.75 م³/ث. أما الأعوام 77/76 و 79/78 فقد سجل حجم التصريف فيهما على التوالي 4.31 م³/ث و 4.2 م³/ث. في الوقت الذي بلغ فيه معدل حجم التصريف السنوي 22.12 م³.

وقد سجل معدل التصريف اليومي قمة لم تسجل منذ أكثر من ثلاثين عاماً وهي معدل تصريف شهر كانون ثاني من عام 1965 حيث بلغ معدل التصريف لذلك الشهر 40.34 م³/ث. فإذا ما قارنا هذا التصريف بمعدل التصريف اليومي العام (0.393 م³/ث) فإن هذا يعني فرقاً هائلاً، ويعود سبب ذلك لحدوث فيضان كبير في ذلك العام والذي سجلت قمته 632 م³/ث. (جدول 4).



شكل (30) التصريف الفصلي

(جدول 5) معدل التصريف الفصلي لوادي الموجب (تصريف الأساس) م³/ث

	الخريف	الشتاء	الربيع	الصيف
المجموع	0.81	0.651	0.621	0.262
المعدل	0.6	0.217	0.207	0.087

(جدول 6) التصريف الفصلي لوادي الموجب (التصريف اليومي) م³/ث

	الخريف	الشتاء	الربيع	الصيف
المجموع	0.899	4.7	2.56	0.32
المعدل	0.230	1.57	0.85	0.11

تصريف الفيضان Flood Flow Discharge :

ان الجرى الأصغر للنهر هو ذلك الجزء من المقطع العرضي له والذي تغطيه مياه النهر الجارية طيلة أيام السنة، أما الجرى الأعظم، فهو ذلك الجزء من المقطع العرضي تجرى النهر الذي تغطيه المياه الجارية في فترات الفيضان فقط، وتعود المياه الجارية لتغطي المنطقة المحصورة بين الجريين الأصغر والأعظم حسب كمية تصريف المياه.

ونلاحظ في فيضانات وادي الموجب بعد المقارنة بين الجدولين 3، 4

واستخراج الجدول رقم 5، بانها فيضانات متذبذبة جداً (الشكل 31 أ و ب و ج) ويعود السبب في ذلك الى تذبذب كميات الأمطار الهاطلة ضمن منخفض جوي واحد.

وقد سجل تصريف وادي الموجب شلوذاً حاداً بتاريخ 18-19-1996/1/20، حيث بلغ تصريف وادي الموجب $631.6 \text{ م}^3/\text{ث}$ (شكل 31) خلال فترة الدراسة. وإذا ما قارنا هذه الكمية بمعدل التصريف الذي يبلغ $693.0 \text{ م}^3/\text{ث}$ (أي أن المعدل لم يصل حتى الى المتر المكعب بالثانية)، فإننا نلاحظ أن هناك فرقاً شاسعاً بينهما، مما يؤكد عدم ثبات التصريف المائي لوادي الموجب، وأن التذبذب في حالة وادي الموجب يصل الى أقصى درجاته، خاصة إذا ما علمنا أن معظم أراضي الحوض تقع في المنطقة الصحراوية من الأردن والتي تتميز بتذبذب شديد في أمطارها.

وبتحليل هذا الفيضان نجد أنه قد بدأ في يوم 18/1/1965 وتصريف قدره $8 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، ليرتفع في اليوم التالي الى $631.6 \text{ م}^3/\text{ث}$ وهي قمة الفيضان، ليعود وينخفض مرة أخرى الى $285.5 \text{ م}^3/\text{ث}$ في يوم 20/1/1965 مثلاً كمية تصريف بلغت $0.4 \text{ م}^3/\text{ث}$ (شكل 31) (جدول 6).

ولذلك نجد بأن حجم التصريف السنوي للسنة المائية 1965/64 قد بلغ 111.76 م^3 ، بينما نجد ان سنوات الجفاف سجلت كمية ضئيلة جداً بلغت في العام المائي 1991/90 فقط 1.45 م^3 . وهذا يعني أن مقدار تصريف فيضان عام 65/64 وفي يوم واحد فقط هو أكثر من تصريف الوادي في كل العام المائي 1991/90 وقد بلغ 54.6 م^3 . وهذا يعني أيضاً أن مقدار أو حجم التصريف

ليوم واحد فقط كان أكثر من حجم التصريف السنوي لعدة سنوات أحياناً، بل لم يصل التصريف لهذا الحجم إلا في سنة واحدة وهي في السنة المائتية 1988/87 حيث بلغ حجم تصريف ذلك العام 68.24 م³، وفي العام 1971/71 و 1972/71 حيث سجل حجم التصريف كمية مقدارها على التوالي 57.6 م³ و 59.08 م³.

وقد بلغ عدد الفيضانات المسجلة في محطة جسر وادي الموجب 104 فيضانات (جدول 4)، هذا مع العلم أن عدد الفيضانات تضاوت بين سنة وأخرى، فقد سجلت السنوات المائتية 67/66 و 71/72 أكبر عدد من الفيضانات حيث بلغت ثمانية وكانت قمم تلك الفيضانات على التوالي 83.3 م³/ث و 135 م³/ث. بينما بلغ عدد الفيضانات سبعة في سنتين مائتين وستة في سنتين مائتين وخمسة في سنة مائتية واحدة، وأربعة في خمس سنوات، وثلاثة فيضانات في ثمانية سنوات مائة (جدول 4) بينما لم يسجل أي فيضان في سبع سنوات مائة.

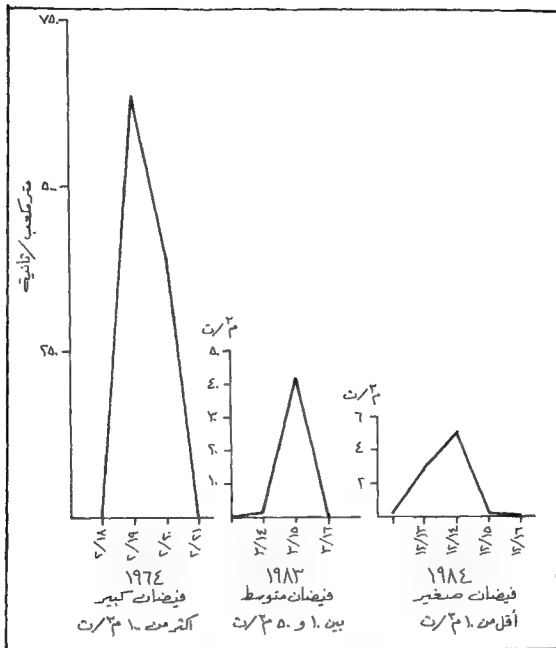
وفي الوقت الذي سجل فيه أعلى تصريف فيضان بتاريخ 1965/1/19 وبلغ 631.6 م³/ث، بلغ أدنى تصريف فيضان في فترة الدراسة 0.21 م³/ث بتاريخ 1978/3/13. كما أن أطول فترة فيضان بلغت أربعة عشر يوماً في عام 1967 وبلغت قيمة ذلك الفيضان 26 م³/ث وبدأ بتاريخ 11/16 وانتهى بتاريخ 1967/11/29.

جدول (7) الفيضانات في وادي الموجب وحجم تصرفها (م³/ث) خلال الفترة

(65/64 - 91/90)

السنة المائية	عدد الفيضانات	أكبر تصرف فيضان م ³ /ث	تاريخه
٦٥/٦٤	٣	٦٣١,٦	١٩٦٦/١/٢٠-١٨
٦٦/٦٥	٢	١٠٠,١	١٩٦٦/٣/٢٦-٢٠
٦٧/٦٦	٨	٨٣,٢	٦٦/١/١٤-٩
٦٨/٦٧	٧	٢٦,٠	٦٧/١/٢٩-١٦
٦٩/٦٨	٧	٧١,٦	٦٩/٣/٢٨-١٩
٧٠/٦٩	٣	٢٩,٢	٧٠/٣/١٤-١٠
٧١/٧٠	٤	٢٤٧,٢	٧١/٤/٢٠-١٢
٧٢/٧١	٨	١٣٥,٠	٧١/١٢/٣١-٢٧
٧٣/٧٢	٢	١٠,٥	٧١/١/١٨-١٣
٧٤/٧٣	٤	٢٩,٢	٧٤/٢/١٣-١١
٧٥/٧٤	٤	١٣٧,٠	٧٥/٢/٢٣-٢١
٧٦/٧٥	١	٩٨,٩	٧٦/٣/١٤-١٢
٧٧/٧٦	-	-	-
٧٨/٧٧	٦	٩٦,٧	٧٨/١/٥-٤
٧٩/٧٨	٢	٣,٢٨	٧٩/١/٩-٧
٨٠/٧٩	٦	٦٠,٣٥	٨٠/٢/٢٦-٢٤
٨١/٨٠	٣	٧٧,٧٤	٨٠/١٢/٢٩-٢٦
٨٢/٨١	٦	١٦٤,٢	٨٢/٤/١٦-١٤
٨٣/٨٢	٣	٣,١٦	٨٣/١/٢٦-٢٣
٨٤/٨٣	-	-	-
٨٥/٨٤	٤	٤,٩٣	٨٤/١٢/١٤-١٣
٨٦/٨٥	٣	١,٥	٨٥/١٢/٢١-١٨
٨٧/٨٦	٣	٤١,٩٤	٨٧/٣/٢٠-١٤
٨٨/٨٧	٥	٩٥,٢١	٨٨/١/٢٢-١٦
٨٩/٨٨	٤	٦٧,٥٩	٨٨/١٢/٣٠-٢٤
٩٠/٨٩	٣	١٠,٥	٩٠/٤/٤-٢
٩١/٩٠	٣	١,٥٤	٩١/١/٢٩-٢٥

(*) لم يتم تسجيل أي فيضان منذ العام المائي ٩٢/٩١ وحتى العام المائي ٩٦/٩٥.



شکل (31) تصريف الفيضان

الفيضانات Floods

الفيضانات احدى الظواهر الطبيعية التي تنشأ بمعظمها عن زيادة كمية التساقط او ذوبان الثلوج عن الحد الذي يمكن ان تستوعبه القنوات النهرية. وقد عانت وما زالت تعاني العديد من المناطق في مختلف أرجاء المعمورة من هذا الخطر. وقد أوحى هذه الظاهرة الطبيعية للقدماء بأن يتدعوا العديد من الطرق لقياسها والتنبؤ بها، حتى أنهم تقربوا الى الله ليدرء عنهم أخطارها، بأن قدموا القرايين لآلهة تترسب بينهم وبين مُقدَّر حصولها.

وبتفاوت مفهوم كلمة فيضان Flood من مختص الى آخر، حيث ينظر عامة الناس وعلماء الجيومورفولوجيا الى الفيضانات بأنها حالة استثنائية تغطي فيها مياه الأنهار والجداول والسيول على الأراضي المحاذية لجاريها الطبيعية بسبب زيادة التصريف المائي الناجم عن زيادة طارئة في التساقط او ذوبان الثلوج المراكمة على بعض اجزاء حوض التصريف المائي.

أما علماء الهيدرولوجيا فلهم تحديد آخر لمفهوم الفيضان، اذ يعتبرون أية زيادة طارئة في التصريف المائي فيضانا.

ويقدر عمر أقدم فيضان حصل على سطح الأرض بنحو 3.8 بليون سنة، وآثار ذلك الفيضان استدل عليها من صخور الكنجلومريت في جزيرة جرينلند. أما أضخم فيضان تم التعرف عليه حتى الآن، هو ذلك الفيضان الذي حصل قبل 12.000 - 17.000 عام في منطقة شمال غرب الولايات المتحدة، حيث انسابت اثناءه المياه من بحيرة Missoula بمعدل 17 مليون م³/ث. وفي

هذه الفترة كانت الجزيرة العربية تنعم بفترة رطبة. تعرف بحقبة العصر الجليدي الرابع الذي انتهى قبل 15 ألف سنة.

ومن أشهر الفيضانات المعروفة لدى الانسان ويتدبر أحداها فيضان سيدنا نوح عليه السلام قبل 3000 سنة، الذي يعتبر الحد الفاصل بين حقبة عصور ما قبل التاريخ وحقبة عصور ما بعد التاريخ، وقد غمر هذه الفيضان مساحة تقدر بنحو 40.000 ميل² (6400 كم²)، حيث غمرت جميع المدن والقرى بمنطقة ما بين الرافدين، وترك رسوبات من الغرين يقدر سمكها بنحو 11 قدماً (330 سم) قرب أور واريديو.

ولا يغيب عن أذهاننا ما نشاهده عبر شاشات التلفاز من فيضانات تزهق بسببها أرواح العشرات فضلاً عما تسببه من دمار البنى التحتية والممتلكات، ويتركز خطر الفيضانات المدمرة حالياً بمنطقة الاقليم الموسمي بجنوب شرق آسيا المتمثلة بدول (الهند، الصين، وباكستان، بنغلادش، بورما، تايلاند....).

أما في الأردن، فقد عانت مدينة عمان نظراً لطبوغرافيتها من فيضانات عنيفة تكاد تكون سنوية، كانت تغطي المياه خلالها على المحلات التجارية، وتحول شوارعها الرئيسية الى مجاري أودية حقيقية، الا أن هذه الظاهرة قد تمت السيطرة عليها كلياً، فمنذ عام 1985 لم نشاهد مثل تلك الحالات، بسبب كفاءة نظام تصريف المياه السطحية للعاصمة.

ويعد فيضان مدينة معان الذي حصل عام 1962 اشهر الفيضانات التي حصلت في الأردن في التاريخ المعاصر، حيث طمرت مياه الفيضانات جزء كبيراً من مدينة معان، بسبب تطور حالة علم استقرار جوي فوق المنطقة.

الآثار الناجمة عن الفيضانات

يبين الشكل التالي الآثار المترتبة على حدوث الفيضانات، اذ يتضح من خلال الشكل أن للفيضانات آثار إيجابية وآثار سلبية.

فقد كان قدماء المصريين يستغلون تلك الفيضانات لغايات الري وتخزين مياه الفيضانات في رقع أرضية منخفضة يستغلونها عند تراجع مياه النهر، كما أن طغيان مياه النهر على جوانب المجرى يؤدي إلى زيادة المخزون الجوي في المنطقة، حيث تتمتع السهول الفيضية بطاقة استيعاب عالية جداً، وتتميز أيضاً بنفاذيتها العالية، كما تساهم الفيضانات في انعاش النباتات الطبيعية المحاذية للمجرى، فتزيد من كثافتها وتطيل من عمر بقائها، بالإضافة إلى تزويد الترب المجاورة بالمخصبات الطبيعية التي تساعد على زيادة إنتاجيتها.

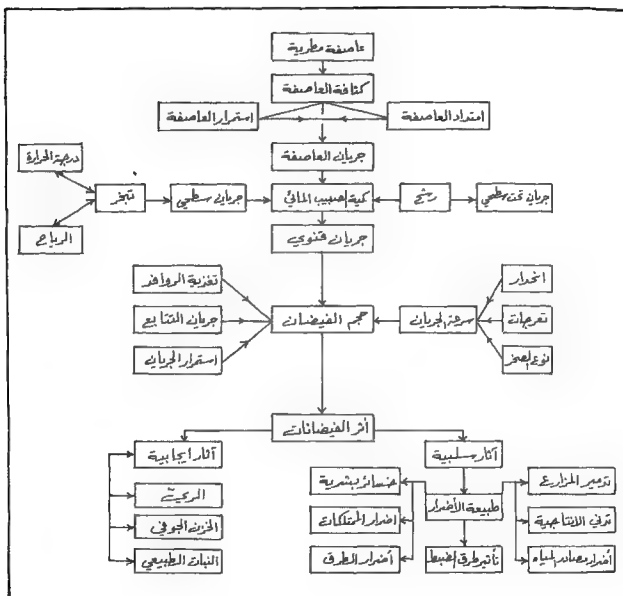
وبالمقابل فإن الفيضانات تدمر المزارع والممتلكات وتزهق الأرواح وتجرف الربة السطحية المنتجة، وتخرب قوام الربة ونسيجها، وتضيف أعباء كبيرة على المزارع عندما يعيد أرضه إلى سابق عهدها، فقد تحتاج الأرض إلى إضافة السماد الطبيعي إليها أو تحتاج إلى إزالة الحجارة وإلى صرف المياه الزائدة. كما أن الفيضانات تدمر نظم الري والطرق وأنابيب المياه، وقد تنفق بسببها آلاف رؤوس الأغنام والماشية.

طرق التحكم بمياه الفيضانات :

تستخدم العديد من الطرق للدرء خطر الفيضانات نذكر منها :

1. إقامة الضفاف Levees :

وهي عبارة عن حواجز في معظمها ركامية على شكل شريط مواز



شكل (32) الآثار المترتبة على حدوث الفيضان

يجرى السيل لمنع تغلغل مياه الفيضان الى المناطق المجاورة. وقد طبقت هذه الطريقة طيلة الحقب الزمنية التي مرت على حضارات ما بين الرافدين حتى عام 1956، حين تم انشاء سد سامراء الذي حد نهائياً من الفيضانات المدمرة على مدينة بغداد.

2. جدران الفيضانات Flood Walls :

وهي حوائط اسمنتية تقام على ضفاف الأنهار المعرضة لارتفاع مناسب المياه الجارية فيها، والتي قد تشكل خطراً داهماً على المناطق المحاذية لها. ومثل هذا الأمر نجده بنهر التميز الذي يمر من قلب مدينة لندن، وقد تكون هذه الحواجز معدنية تتحرك وفق آلية منظمة تنسق وحالات المد والجزر وارتفاع المنسوب بسبب التساقط أو ذوبان الثلوج.

3. نظام صرف الطوارئ Emergency Water flow system :

ويقصد به اقامة نظام خاص من القنوات تبدأ من جوانب الأنهار المعرضة لارتفاع مناسبها بصورة فجائية، حيث تعمل هذه القنوات على صرف المياه الزائدة وتحويلها الى مجاري ثانوية او الى بحيرات اصطناعية او طبيعية، أو الى بالوعات كارسستيه لها طاقة هائلة على استيعاب المياه.

4. تنظيف المجاري المائية Dredging :

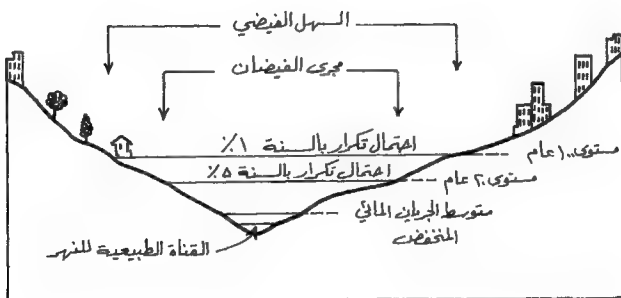
لزيادة كفاءة القنوات النهرية على نقل المياه، يجب زيادة مساحة مقطعها اما بتعميقها او بازالة الارسابات السائبة من القناة الرئيسية، ويتم هذا الأمر عادة خلال فصل الجفاف او ما يسمى بالصهيود، او التحريق عندما يقل معدل التصريف المائي.

5. تحديد مناطق الاستخدام الأنسب على جوانب القنوات النهرية (شكل 33).

بحيث تحدد نطاقات الاستخدامات الزراعية والسكنية، كما يتم تحديد المناطق التي يحظر استخدامها على الإطلاق، وذلك للحد من خطر الفيضان ما أمكن، وتبنى هذه النطاقات على مبدأ تكرار الفيضانات وسنوات الرجوع.

6. اقامة نظام تحذير وتنبيه متقن Forecasting and Warning system

تلجأ العديد من الدول التي تعاني من تكرار الفيضانات الى اقامة نظم تنبؤ، مكونة من شبكة رصد رادارية مرتبطة بمحطات قياس التصريف المائي، مسيطر عليها جميعها من قبل محطات تحكم ورصد، تتصل بقيادة الدفاع المدني والجيش والأمن العام، تبث معلومات وبيانات مباشرة قد تكون مسموعة او مرئية.



شكل (33) نطاقات الأمان حول مجرى النهر وفق سنوات رجوع الفيضان

الطرق الاحصائية المستخدمة في التنبؤ :

عمد المهتمون بقضايا الموارد المائية والمشكلات البيئية الى اتباع عدة سبل حاولوا من خلالها التوصل الى طرق مختلفة، يستطيعون من خلالها التنبؤ بحدوث الفيضانات. وقد تنوعت هذه السبل بين أن تكون متخصصة بالأجل الطويل Bridict، والبعض الآخر متخصص بالأجل القصير Forecast.

طرق التنبؤ طويل الأجل :

تركز هذه الطرق على سنوات الرجوع، واحتمال تكرار فيضان ما خلال فترة زمنية محددة، وقد تنوعت تلك النماذج حسب اجتهد أصحابها، ويؤخذ على هذه الطرق ما يلي :

1. يمكن أن تحدث حالة نادرة بعد مضي فترة طويلة ولكنها قد تتكرر في أي وقت، لكون الظاهرة الطبيعية تميل للتجمع خلال فترات زمنية متقاربة.
2. يؤدي الاعتماد على هذه التقنية من قبل عامة الناس الى حصول أضرار جسيمة نظرا لأن بعض الحوادث يتوقع أن لا تتكرر أثناء جيل واحد، ولكنها تتكرر بعد فترة وجيزة.
3. تبنى هذه النماذج توقعاتها بناء على البيانات المتوفرة، وسوف يطرأ على نتائجها الكثير من التغيرات باختلاف قيم هذه البيانات مع استمرار وقائع الظواهر الطبيعية كالأمطار.
4. في كثير من الحالات قد لا تتطابق نتائج الاحتمالية ونتائج سنوات الرجوع.

ويلجأ البعض الى استخدام تحليل السلاسل الزمنية، او دراسة الفيضانات السابقة من خلال دلائل جيولوجية وجيومورفولوجية. كما تم تطوير العديد من النماذج الاحصائية المتقدمة في هذا المجال كالتحليل الطيفي والانحدار البسيط والمتعدد.

سنوات الرجوع : Return period

يهدف استخدام تقنية تحليل التكرار الى رسم او تمثيل الحد الأعلى لبيانات التصريف المائي السنوي، ومن ثم تقدير الاحتمال الأكثر واقعية لحصول جريان ما. وتستخدم طريقتان في هذا المجال احدها تأخذ بالحسبان فقط أعلى قمة في كل سنة، بينما الطريقة الثانية فتستخدم كل القمم. ولكن الطريقة الأكثر استعمالاً فهي الطريقة الأولى Annual Maximum series. بحيث يتم ترتيب قيم القمم تنازلياً وترقيمها وفق رتبتها ثم تطبيق عليها النماذج الرياضية المختلفة.

وقد تفاوتت هذه النماذج في سهولتها، فابسطها نموذج كاليفورنيا الذي يقوم بقسمة رتبة قمة التصريف المائي (اي قمة) على طول السلسلة الزمنية، ويكون الناتج عدد السنوات اللازمة لتكرار هذه القيمة. فمثلاً لو كانت لدينا قمة تصريف مائي قدرها $100 \text{ م}^3/\text{ث}$ ، وترتيبها بين القمم 10 وطول السلسلة الزمنية قيد الدراسة 30 سنة، فان عدد السنوات اللازمة لرجوع هذه القيمة ($100 \text{ م}^3/\text{ث}$) هو $\frac{30}{10} = 3$ سنوات فقط. الا أن الأمر أصبح معقداً جداً ويصعب على البعض تطبيق بعضها إلا بالحواسبات الالكترونية.

وتتبنى الدول والمنظمات بعض هذه النماذج الاحصائية. فمنظمة

الأرصاء الجوية تعتمد : Probability weighted moment، وتعتمد الولايات المتحدة Log-Person Type، وبريطانيا General extreme values. أما في الأردن، فتعتمد طريقة جمل Gumble في معظم الدراسات المتعلقة بسنوات الرجوع.

وأسهل صورة تظهر بها معادلة "جمل" هي على النحو التالي :

$$F = m / (n + 1)$$

حيث أن :

$$F = \text{سنة الرجوع او الزدد}$$

$$m = \text{الرتبة}$$

$$n = \text{عدد السنوات / طول السلسلة الزمنية}$$

وقد طور "جمل" معادلته فأدخل عليها المتوسط والانحراف المعياري والمتوسط المعدل والانحراف المعياري المعدل ولوغريتم السنة. فأصبح هذا النموذج الجديد لا يحتاج الى ترتيب القيم تنازلياً. والمعادلة أصبحت على النحو التالي :

$$Y = \bar{Y} + \frac{Q}{Q_n} (\log T - \bar{Y}_n)$$

حيث أن :

$$Y = \text{قمة التصريف المائي.}$$

$$\bar{Y} = \text{المتوسط الحسابي لقمم التصريف المائي المستخدمة في الدراسة.}$$

$Q =$ الانحراف المعياري لقمم التصريف المائي المستخدمة في الدراسة.

$\bar{Y}_n =$ المتوسط المعدل وتستخدم معامل تصحيح خاص (J.b.Broce, 1980, 125).

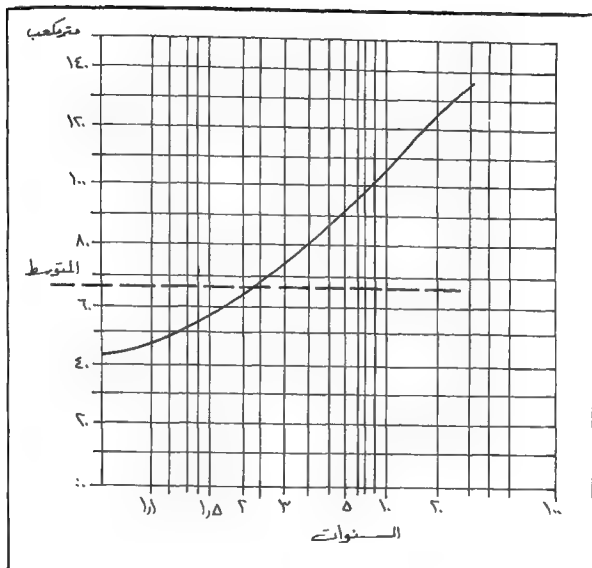
$Q_n =$ الانحراف المعدل ويستخرج من جدول خاص (Ibid, p.125)^(*)
 $T =$ سنة الرجوع.

وبعد تطبيق المعادلة على سلسلة زمنية معينة لبعض الأنهار يجب أن تمثل النتائج على ورق خاص يدعى ورق توزيع "جبل" كما هو واضح في الشكل (34) اذ يوضح هذا الشكل تطبيق معادلة "جبل" على سلسلة زمنية من التصريف المائي مدتها 30 سنة على محطة جسر جرش على نهر الزرقاء. ويتضح من خلال هذا الشكل أن متوسط قمم التصريف المائي لنهر الزرقاء يصل إلى 76.6 م³/ث، وأن هذه القمة تحتاج إلى 2.33 سنة حتى تتكرر مرة أخرى.

ويفضل البعض استخدام مفهوم احتمالية حصول قمة تصريف مائي خلال فترة زمنية من استخدام عدد السنوات اللازمة لتكرار قمة ما. ففي الشكل (35) يبدو أن أعلى قمة لتصريف المياه من الزرقاء خلال 30 سنة (63-1993) هي 288 م³/ث، وأن احتمال تكرارها في سنة ما هو 3.1% وأن احتمال عدم تكرارها سنوياً يصل إلى 96.9%.

(*) يساوي المعامل في حالة نهر الزرقاء (1.1159).

(**) يساوي المعامل في حالة نهر الزرقاء (0.5371).



شكل (34) سنوات الرجوع لقمم التصريف المائي لنهر الزرقاء وفقاً لتوزيع "جبل"

طرق التنبؤ قصيرة الأجل :

تعتمد هذه الطرق على بيانات آنية ومشاهدات سابقة وبعض المتغيرات المقاسة مثل مساحة الحوض، وطقسرافية ورطوبة التربة، والغطاء النباتي، ونوع الصخر، وطيبة التساقط، وغير ذلك من المتغيرات، التي يمكن من خلالها توقع كمية التصريف المائي، وأحيانا قمته.

وقد تم تطوير العديد من النماذج الاحصائية لهذا الغرض بالاستعانة بنماذج مخبرية. وتستطيع بعض هذه النماذج تقدير حجم التصريف المطري على مستوى العاصفة أو على مستوى يوم واحد، أو على مستوى آني لحظة بلحظة مثل نموذج Autoregressive moving Average (ARMA)، والذي يقوم بتسجيل البيانات المطرية ساعة بساعة ليوصلها مباشرة الى محطات مراقبة محوسبة، تقوم بالتقدير المباشر.

كما تستخدم حاليا بيانات مباشرة مستمدة من محطات رادارية، تعطي وصفا عاما للمنخفض الجوي من حيث الشكل والعمق والامتداد، ومن خلال مشاهدات سابقة، يمكن التنبؤ بكمية الأمطار المتوقع سقوطها على الحوض، ومن ثم تحويلها الى جريان مائي من خلال معادلات خاصة بهذا الحوض. مثل

معادلة Rational Method :

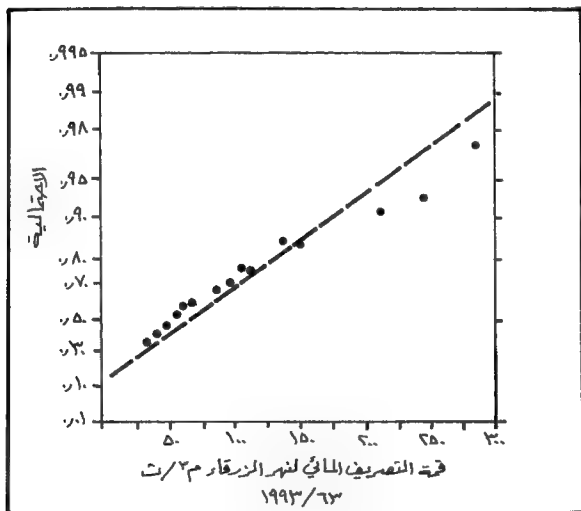
$$Q = C i A$$

Q = قمة التصريف المائي م³/ث.

i = كثافة التصريف المائي م³/ ساعة.

A = مساحة الحوض. كم².

وهناك العديد من الطرق الحديثة التي بدأت الدول المتقدمة استخدامها للتخفيف من حدة الأعاصير والفيضانات مثل السفن القابضة في المحيطات، والأقمار الصناعية المتخصصة برصد حركة الزنادو والتيفون وغيرها من الأعاصير التي تضرب بعض الدول مثل الولايات المتحدة الأمريكية.



شكل (35) احتمالية تكرار رقم التصريف المائي لنهر الزرقاء وفقاً لتوزيع "جبل"

الفصل الرابع

المياه الجوفية

تعتبر المياه الجوفية أحد المصادر الرئيسية لمياه الأنهار الدائمة الجريان في العالم، حيث يعتمد تصريف الأساس للأنهار على المياه الجوفية. والمياه الجوفية هي مياه ترشحت من السطح عبر طبقة الرتبة الهشة إلى داخل تكوينات القشرة الأرضية والتي تصبح فيما بعد خزانات كبيرة للمياه الجوفية.

وتزداد استعمالات المياه الجوفية يوماً بعد آخر وسنة بعد أخرى وذلك لزيادة حفر الآبار الجوفية في كل دول العالم، وذلك لزيادة الحاجة إليها في توفير مياه الشرب لكثير من مدن العالم ولتوفير مياه الري في الزراعة في مناطق واسعة من العالم.

نتيجة لكل ذلك أصبح من الأهمية بمكان تقدير كميات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث وتنظيم ضخ المياه فيها لضمان استمرارية توفرها كمصدرها طبيعي للمياه.

أصل المياه الجوفية :

يعود أصل المياه الجوفية إلى المياه السطحية، سواء كانت مياه أمطار ترشحت عبر طبقة الرتبة إلى الطبقات الصخرية ضمن تكوينات القشرة الأرضية، أو من مياه الطلوج التي تتساقط في فصل الشتاء وتبدأ بالدوبان التدريجي فتمطي الوقت الكافي لترشح مياهها إلى داخل القشرة الأرضية. أو

يكون مصدر المياه الجوفية من تسرب مياه الأنهار على طول المجاري النهرية أو من ماء البحيرات. كما يمكن أن يكون مصدر الماء الجوفي من مياه الري الزائدة، أو يكون مصدر المياه الجوفية اصطناعياً، حيث بدأ حديثاً بتزويد الطبقات الجوفية بمياه الفيضان عن طريق الحقن، أو ما يسمى بحقن الآبار الجوفية. كما تساعد مياه البحار والمحيطات على تزويد المياه الجوفية بجزء من مخزوناتها من المياه الجوفية.

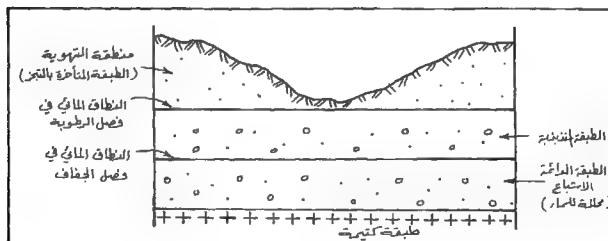
وتتماز الطبقات الحاملة للماء بمجموعة من الخصائص، فالمياه الجوفية تتواجد في فراغات الطبقات الصخرية الرسوبية لأنها تستطيع الاحتفاظ بالماء. فصخور الحجر الرملي مثلاً ذات مسامية منخفضة ولكنها ذات نفاذية عالية لذلك فإن صخور الحجر الرملي يمكنها أن تحتفظ بكميات كبيرة من الماء، ويطلق عليها اسم الطبقات الحاملة للماء **Aquifer**. ويشترط أن تكون تحت هذه الطبقة صخور صماء كثيفة غير منفذة للماء **Impermeable** تمنع من استمرار رشح الماء إلى داخل جوف الأرض. وتقل كميات الماء الجوفي مع زيادة العمق وذلك بسبب ازدياد كثافة الصخور باتجاه الأسفل، ويرتبط ذلك بقلة المسامات بين الصخور العميقة، فكلما زاد العمق كلما أغلقت المسامات البينية، بسبب وزن المواد الصخرية العالية الكثافة، والتي تؤدي إلى إغلاق المسافات بالمواد الدقيقة. ومن هنا فإن معظم الآبار لا يتجاوز عمقها 700 متر، لكن بعض الآبار يصل عمقها إلى 1500 متر.

نستنتج مما سبق أن هناك ثلاث طبقات تتحكم بوجود الماء الجوفي وبكميات متفاوتة.

أ. الطبقات الحاملة للماء Aquifer وهي الطبقات التي تتميز بوجود نفاذية عالية ونقل جيد للماء، وإذا توفرت ظروف التشيع تصبح طبقات مشبعة بالماء. وتشكل في الغالب من أنواع مختلفة من الصخور الرسوبية وبخاصة الصخور الرملية (شكل 36).

ب. طبقات صخرية ذات مسامية ونفاذية أقل، وهي صخور ذات قدرة قليلة على الاحتفاظ بالماء وتسمى Aquiclude. وتشكل هذه الطبقات من الطفل أو الطين أو الالين معا (شكل 36).

ج. طبقات أرضية كتمية ذات مسامات دقيقة جداً أو معدومة وذات قدرة محدودة جداً أو معدومة على حركة الماء وتسمى Aquifuge. (شكل 36)



شكل (36) تغير مستوى النطاق المائي الجوفي

العوامل التي تؤثر على مستوى الماء الجوي :

النطاق المائي هو المد الأعلى للماء الجوي، إلا أن مستوى الماء الجوي يصعد ويهبط تبعاً للعوامل التالية :

1. نوع الرواسب، وهل هي حصوية أم رملية أم طينية.
2. الخصائص المناخية للمنطقة من حيث كميات الأمطار وديمومتها وفصول الرطوبة والجفاف بالإضافة إلى التبخر والجريان.
3. المسامية والنفاذية للطبقات الواقعة فوق مستوى الماء الجوي وتحتة.
4. الجاذبية والخاصية الشعرية والغطاء النباتي.

وهناك بعض العوامل البشرية التي تؤثر على مستوى الماء الجوي وهي :

1. حفر الآبار وزيادة الضخ بخفض مستوى الماء الجوي.
2. حقن الآبار بالمياه يرفع مستوى الماء الجوي.
3. السدود، حيث يؤدي تسرب الماء السطحي إلى الماء الجوي يزيد من مستوى الماء الجوي.
4. عمليات الحفر من أجل شق الطرق بمختلف أنواعها يؤدي إلى رشح الماء الجوي مما يؤدي إلى انخفاض مستواه في الطبقات الحاملة.
5. الاعتماد العمراني والنشاطات البشرية الأخرى، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة معامل الجريان على معامل الرشح وهذا يقلل من فرص تسرب الماء السطحي إلى الماء الجوي.

ولو أخذنا مقطعاً عمودياً لصخور القاعدة القارية الحاملة للماء فانه
يمكننا تمييز ثلاث طبقات حاوية للمياه الجوفية.:

1. النطاق الأعلى :

ويحتوي على المياه العذبة والناتجة عن سقوط الأمطار الحالية وترشحها،
وان الحدود الداخلية لهذه الطبقات يمكن أن تتوافق مع القاعدة التحتية للأودية
النهرية المتعمقة (شكل 36).

2. النطاق الأوسط :

وتقع تحت النطاق الأعلى ويصل عمقها الى كيلومتر واحد تقريباً،
حيث يحدث هنا تمازج مع المياه القديمة (الحفورية).

3. النطاق الأسفل:

وفيه تكون عملية التبادل المائي بطيئة، والمياه فيها قديمة جداً، وهي مياه
حفورية مدفونة على أعماق بعيدة تصل الى 10 كم وذات ملوحة عالية.

وقد تشكلت هذه المياه في فترات ماضية عندما كانت المنطقة مغطاة
بمياه البحار، فبعد انحسار البحر غطت الرواسب هذه المنطقة وبقيت المياه في
الأسفل. وتسمى بالمياه الاحفورية Fossils water . ويمكن تقسيم الماء الباطني
على سطح الأرض الى نطاقات مختلفة العمق تبعاً لخصائصها الهيدروولوجية
كالملوحة والعمق وهذه النطاقات هي :

1. نطاق التنهدا ذو المياه النقية جداً وقليلة العمق.

2. نطاق غايي ذو مياه نقية.

3. نطاق السهول ذو املاح قليلة من 0.5 - 1 غم لكل لتر في العروض المعتدلة.

4. نطاق الصحراء وشبه الصحراء وهي ذات مياه جوفية مالحة وعميقة.

5. نطاق السهول المدارية والسافانا المتوسطة الملوحة.

6. نطاق الغابات الاستوائية وهي مياه عذبة وقليلة الملوحة وقليلة العمق.

الأشكال المائية الجوفية :

توجد المياه الجوفية بشكل عام في التكوينات الصخرية المنفذة للماء ضمن القشرة الأرضية ولكنها توجد في أشكال مختلفة تبعاً لظروف التكوينات الصخرية وأماكن تواجدها. وتقسم الأشكال المائية الجوفية الى المجموعات التالية:

1. الطبقات المائية الجوفية المعلقة :

تظهر هذه التشكيلات في المناطق المتأثرة بالهواء والقريبة من سطح الأرض فوق مقعرات محلية غير منفذة للماء مكونة من الطين أو الرمل. ولأن عمق هذه الطبقات قليل، فانها تعاني من تأثير درجة حرارة الهواء والنظام المطري، ولذلك فان هناك احتمالاً لاختفائها، ويعتمد طول الطبقة الحاملة للماء على القاعدة غير المنفذة للماء. ويمكن لهذه التشكيلات ان توجد بشكل اصطناعي حيث يقوم الانسان بعمل طبقة سطحية منفذة مكونة من الحصى والرمل يليها طبقة غير منفذة. وقد استخدمت هذه الطريقة في مدن امريكية مختلفة (شكل 37)

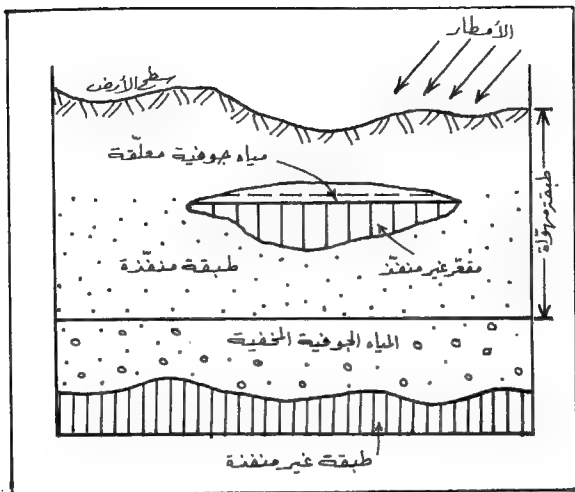
2. الطبقات الجوفية العادية :

تقع هذه التشكيلات الجوفية على عمق يتراوح بين 20-25 متراً، وتحتوي على منطقة مشبعة بالماء للطبقات المنفلة واقعة فوق صخور غير منفلة للماء، وتتغذى من رشح مياه الأمطار ومن تجمعات البخار الموجود في الطبقة المهيأة. ويمكن أن يرتفع مستوى الماء الجوفي أو ينخفض حسب كميات المياه المرشحة وكميات المياه الخارجة من الطبقات الحاملة للماء.

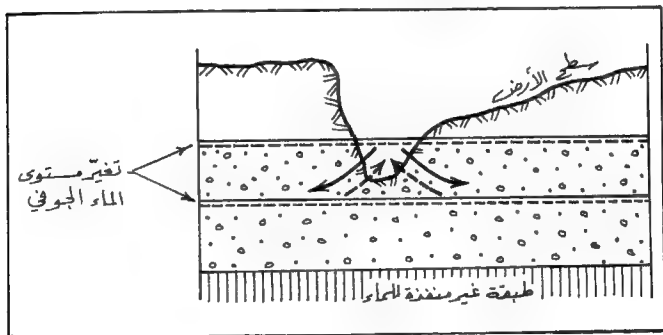
ويمكن أن تحدث ظاهرة متبادلة بين مجاري الأنهار والطبقات الحاملة للماء، فإذا كانت الأنهار صغيرة فإنها تعمل على امتداد الطبقات الحاملة للماء، وعندما تعمق الأنهار مجاريها فإنها تصبح هي التي تتغذى بالمياه الجوفية. وتقسّم المياه الجوفية العادية حسب علاقتها مع المياه السطحية إلى :

أ. المياه الجوفية تحت النهرية، حيث يوجد تبادل كثيف بين فعل تيار الماء السطحي وتيار الماء الجوفي. فإذا انخفض مستوى الماء الجوفي عن مجاري الأنهار فإن التسرب من مياه الأنهار نحو الطبقات الحاملة تزداد ويصبح النهر هو الذي يزود الماء الجوفي. بينما إذا ارتفع مستوى الماء الجوفي لمستوى أعلى من مستوى الماء في النهر فإن الماء الجوفي هو الذي سيزود النهر بالماء (شكل 38).

ب. التشكيلات الجوفية للأنهار الجليدية. توجد هذه التشكيلات في المنخفضات الجوفية للجليديات والغطاة بالصلصال والرمل، لكن هذه التشكيلات قليلة الوجود وينحصر وجودها في شمال القارات.



شكل (37) الطبقات المائية الجوفية المعلقة



شكل (38) تبادل تزويد الماء بين الأنهار والطبقات الحاملة للماء

ج. المياه الجوفية تحت الشبكات المائية السطحية :

وينطبق هذا على ما جاء في البند أ، حيث يوجد تبادل مستمر بين الماء الجوفي وشبكات المجاري المائية. بالإضافة الى انه اذا كانت المناطق الجوفية عميقة وتقع في مناطق سهلية، فسيكون تحتها أحواض جوفية كبيرة (شكل 39).

د. المياه الجوفية تحت المراوح الفيضية :

تتكون المراوح الفيضية عادة من الحجارة والحصى والرمل، لذلك فهي تشكيلات صخرية منفذة بشكل جيد للماء، لذلك فان المراوح الفيضية تحتوي على كميات من الماء الجوفي. (شكل 40).

3. المياه الجوفية المأسورة :

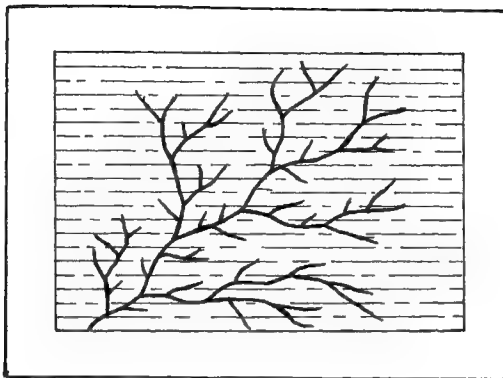
تتكون المياه الجوفية المأسورة بسبب تجمع الماء المتسرب من مياه الأمطار في صخور منفذة، والتي تتسرب لمسافة بعيدة بين طبقتين غير منفذتين للماء مما يؤدي الى تكوين طبقة مائية مأسورة.

4. المياه الجوفية الكارستية :

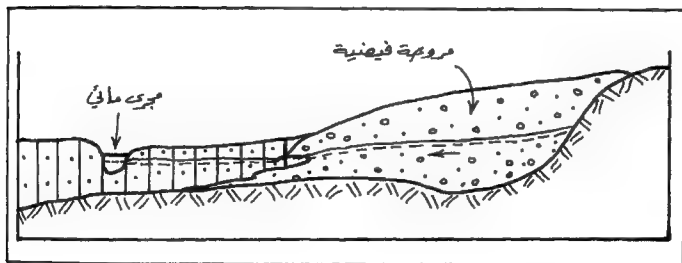
تخلق ظاهرة الكارست تكوينات مائية جوفية تسمى بالمياه الجوفية الكارستية. وتكون كميات المياه كثيفة في الصخور الجيرية Calcar والدولومايت Dolomite والصخور التي تزداد فيها نسبة الملح و كربونات الكالسيوم. حيث يعمل الماء على اذابة الصخر ويكون بداخله قنوات مائية وكهوف كارستيه وبحيرات وجداول ضمنية. وتكون هذه الأشكال مملوءة بالماء كلياً أو جزئياً. (شكل 41)

5. المياه الجوفية الساحلية :

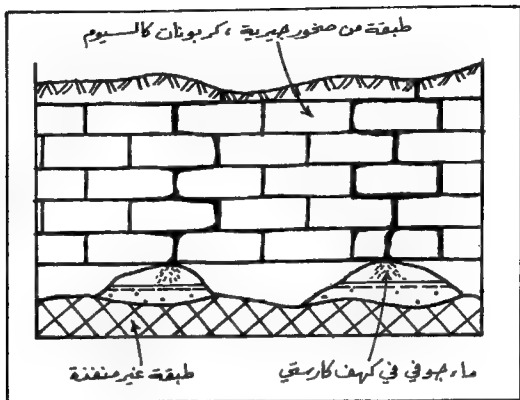
يكون للمياه الجوفية في المناطق الساحلية تركيب خاص ومميز، حيث تحتوي على طبقتين من الماء، طبقة علوية وتحتوي على الماء العذب، ويأتي بعدها مباشرة طبقة من الماء الجوفي المالح القادم من مياه البحار أو المحيطات. (شكل 42).



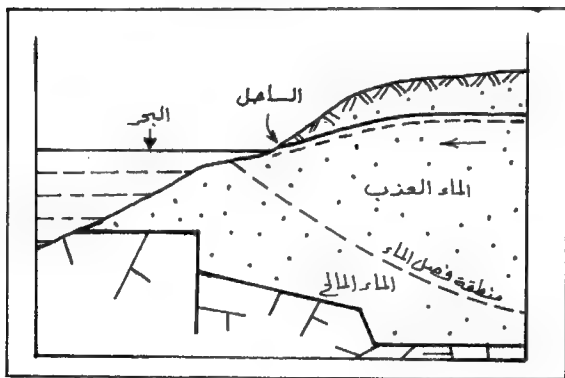
شكل (39) المياه الجوفية تحت الشبكات المائية



شكل (40) المياه الجوفية تحت المراوح المعلقة



شكل (41) المياه الجوفية الكارستية



شكل (42) المياه الجوفية الساحلية

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية هي عبارة عن الزيادة الطبيعية لمخزون الطبقات المائية الجوفية ويمكن ان تعرف ايضا بزيادة الرشح الطبيعي للمياه السطحية ومياه الأمطار. ويتم ذلك برش المياه السطحية داخل التربة عن طريق نشرها في أحواض خاصة أو بواسطة آبار الحقن.

وتعمل التغذية الاصطناعية على إيقاف هبوط مستوى الماء الجوفي بل وزيادة أو رفع مستوى المياه الجوفية. وتعتبر التغذية الاصطناعية مهمة في المناطق التي ينخفض فيها مستوى المياه الجوفية نتيجة جفاف المنطقة مناخيا، أو نتيجة الإفراط في استغلال المياه الجوفية، وما قد ينجم عن ذلك من انخفاض أو نضوب الماء الجوفي بسبب الضخ المستمر وغير العقلاني للمياه من الأحواض المائية، كما وتمكن التغذية الاصطناعية من تخزين المياه السطحية وإعادة استعمالها.

أما أهداف وفوائد التغذية الاصطناعية فيمكن حصرها بما يلي :

1. الاستفادة من مياه الفيضانات وتنظيمها حتى لا تؤدي الى حدوث كوارث، بل يستفاد منها في تغذية المياه الجوفية.
2. زيادة مخزون الماء الجوفي.
3. إيقاف الهبوط المستمر بل ورفع مستوى الماء الجوفي.
4. الاستفادة من مياه الأمطار (الشتاء) واستعمالها في اوقات الجفاف (الصيف).

5. تنقية المياه من المواد العالقة أثناء دخولها الى الطبقات الحاملة للماء.
6. عدم حدوث التزلاقات ارضية بسبب الافراط في عمليات ضخ المياه الجوفية من الطبقات الجوفية السفلى.

يعتمد اختيار نوع ومكان التغذية الاصطناعية على الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة التغذية. وتتمثل هذه الخصائص في الحدود الجيولوجية والهيدروليكية والتكتونية للصخور، وكميات المياه الداخلة والخارجة والقدرة التخزينية للطبقات ومسامية وموصلية الصخور الهيدروليكية ومصادر التغذية المتاحة وكذلك الموازنة المائية وعمق الطبقات الحاملة للماء.

وعند اختيار منطقة التغذية يجب التعرف وبشكل دقيق على الظروف الطبيعية للمنطقة وهذه الظروف هي : جيومورفولوجية المنطقة، الغطاء النباتي، تركيب ونسيج التربة، عناصر المناخ، كمية مياه التغذية ونوعيتها وخواص الطبقات المائية والطبقات المجاورة لها وحساب التكاليف والوقت والجهد والأرباح.

أحواض التغذية : Recharge Basins

تعتبر أحواض التغذية او الرشيع من الطرق الهامة المستعملة في تغذية الطبقات المائية الجوفية. ويتم ذلك بنشر المياه وافاضتها فوق سطح الأرض من أجل زيادة كمية المياه المترسقة الى باطن الأرض لتصل الى الطبقات الحاملة للماء الجوفي. وتعتبر مدة مكوث الماء على سطح الأرض وخواص منطقة التغذية وقدرتها على الرشيع من أهم العوامل التي تحكم سرعة دخول الماء الى التربة

ومن ثم الى الطبقات الجوفية، ومن الشروط الأساسية لاختيار موقع أحواض التغذية ما يلي :

1. ان يكون السطح منفذاً، وتفضل الأسطح الرملية، لقدرتها على سرعة الرشيع.
 2. علم احتواء نطاق التهوية على مقعرات غير منفذه تقلل وتعرض نفاذ الماء الى الطبقات الحاوية على الماء.
 3. ان لا يكون عمق الماء الجوفي كبيراً حتى لا تضع كمية كبيرة من الماء في تبليل نطاق التهوية.
 4. ان تتميز الطبقة المائية بناقلية كافية تسمح بالحركة الجانبية لمياه التغذية.
- ويمكن القول بأن سرعة الرشيع تكون قليلة في البداية (بداية نشر الماء على الأرض) وبعد أن يتشبع السطح بالماء تزداد سرعة الرشيع وخاصة بعد الساعات الأولى ومع استمرار عملية الغمر.

- إبار الحقن Injection wells

تستعمل آبار الحقن لتغذية الطبقات المائية التي يكون فيها استعمال أحواض التغذية غير عملي، وآبار الحقن تعتبر من أهم الطرق المستعملة في التغذية الاصطناعية للطبقات المائية الجوفية، ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة ويجب أن تكون مواصفاتها مطابقة لمواصفات مياه الشرب. وتستعمل آبار الحقن من أجل تخزين المياه تحت الأرض واعادة استعمالها عند الحاجة.

ويتم استعمال هذه الطريقة في المناطق التي تحدث فيها فيضانات فجائية في المناطق الجافة بحيث تحجز المياه خلف سدود معدة مسبقا، ثم يتم حقنها الى الماء الجوفي. او في مناطق المدن التي تزداد فيها مياه الأمطار التي تجري في شوارعها أثناء العواصف المطرية، لذلك فان بالامكان جمع هذه المياه عن طريقة شبكات مجاري خاصة بمياه الأمطار ثم حقنها الى الماء الجوفي.

نوعية المياه الجوفية Ground Water Quality

تحتوي المياه الجوفية على أنواع مختلفة من الأملاح بنسب تركيز مختلفة وذلك بسبب تنوع مصادر تلك المياه، فالمياه الجوفية لا توجد عادة بحالة نقية بل نجدها تحتوي على مواد عالقة وأخرى مذابة فيها، مما يحدد نوعيتها.

وتعتبر جميع العمليات والتفاعلات التي أثرت على المياه منذ تكاثرها في الجو وحتى خروجها عن طريق الينابيع أو ضخها من الآبار، هي المسؤولة عن الصفات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية.

الخواص الفيزيائية :

من صفات الماء النقي انه شفاف، ولكن بسبب المواد العالقة فيه مثل الطين والغرين والمواد العضوية الدقيقة يصبح الماء عكرا.

1. الطعم واللون والرائحة :

الماء الصالح للشرب ليس له طعم ولا لون ولا رائحة، ولكن احتواء الماء على عناصر معينة يؤدي الى تغير لونه أو طعمه أو رائحته. فمثلا نجد ان المياه اخترية على كبريتيد الهيدروجين تكون ذات لون أزرق، ومياه المستنقعات

الغنية بالحوامض المنحلة تكون ذات لون أصفر، والمياه التي تحتوي على المنغنيز ذات لون أسود، والمياه المحتوية على الحديد ذات لون أخضر.

أما بالنسبة للطعم فإن وجود كبريتيد الهيدروجين يعطي المياه رائحة البيض الفاسد، وإذا احتوى الماء على كمية كبيرة من المركبات النيروجينية ذات منشأ عضوي فإن مذاقه سيكون حلواً وهكلاً.....

وإذا تراوحت الكائنات الدقيقة بين 1000-2000 ملغم /لتر فإن الإنسان يمكن أن يميز رائحة الماء. وإذا زادت هذه الكائنات الدقيقة عن 2000 ملغم/لتر فإنها تصبح مزعجة.

2. الحرارة :

تعتمد درجة حرارة الماء الجوي على عمق وعلى سمك الطبقة الحاملة للماء وعلى قربها من البراكين. ويمكن تقسيم المياه الجوفية حسب درجة حرارتها إلى :

أ. مياه باردة ودافئة : وهي التي تصل حرارتها إلى 37°م.

ب. مياه ساخنة ومسخنة جداً وهي التي تزيد حرارتها عن 37°م.

3. المواد العالقة :

تتكون المواد العالقة في الماء الجوي من مواد عضوية ومواد غير عضوية. ويمكن قياس مجموع المواد الصلبة العالقة (TDS) Total dissolved solids بواسطة الترشيح.

وتقسم المياه حسب TDS إلى الأنواع التالية :

- أ. مياه عذبة : تكون فيها كمية المواد العالقة TDS أقل من 1000 ملغم/لتر.
- ب. مياه متوسطة الملوحة : تتراوح فيها كمية المواد العالقة TDS بين 3000-10000 ملغم/لتر
- ج. مياه مالحة وتتراوح فيها كمية المواد العالقة TDS بين 10000-35000 ملغم / لتر.
- د. مياه مالحة جداً تزيد فيها كمية المواد العالقة TDS عن 35000 ملغم/لتر.

الخواص الكيميائية للماء :

1. العسرة الكلية (TH) Total hardness

وهي مجموع ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم في الماء ويعبر عنها بالملي مكافئ لكل لتر أو بالملمع لكل لتر من المكافئ الى كربونات الكالسيوم اي يعبر عنها كمكافئ لكربونات الكالسيوم على النحو التالي :

$$TH = Ca \cdot \frac{CaCO_3}{Ca} + Mg \cdot \frac{CaCO_3}{Mg}$$

والأيونات الفلزية الشائعة التكافئ مثل $Mg^{++}, Ca^{++}, Fe^{++}, Zn^{++}$... الخ تسبب عسرة الماء.

ومن الجدير ذكره أن استعمال الماء العسر يقلل من نوعية الانتاج الصناعي. وتقسم المياه حسب عسرتها الى ما يلي :

- أ. مياه يسره (غير عسره) : وتتراوح عسرتها بين 0 - 60 ملغم/لتر.
- ب. مياه متوسطة العسرة : وتتراوح عسرتها بين 61 - 120 ملغم/لتر.

ج. مياه عسرة : وتراوح عسرتها بين 121 - 180 ملغم/لتر.

د. مياه عسرة جذا : وتزيد عسرتها عن 181 ملغم/لتر.

2. قلوية الماء وحموضته :

يعبر عن القلوية والحموضة بـ PH وهو عبارة عن تركيز أيون الهيدروجين في الماء.

فاذا كانت قيمة الـ PH في الماء أكثر من 7 فإن المياه تكون قلوية (مالحة)، وإذا انخفضت قيمة الـ PH عن 7 فإن المياه تكون حامضية، وإذا كانت قيمة الـ PH 7 فإن المياه تكون محايدة / متعادلة.

التسرب Infiltration

لا يزال هذا الموضوع قيد البحث رغم العدد الكبير من الأبحاث التي غطت المواضيع التالية :

- اختلاف وقت التسرب في التربة في فصل الأمطار.
- العمق الذي يمكن ان تصل اليه جبهة الرطوبة.
- كمية المياه المتسربة في التربة حتى تصل الى مرحلة تغذية الطبقات الحاملة للماء الجوفي.
- تقدير رطوبة التربة الموجودة في التربة عند بداية سقوط الأمطار.
- وحتى تتم عملية التسرب الى الطبقات الحاوية للماء الجوفي لابد من التعرف الى موضوع المسامية وهي نسبة حجوم الفراغات الموجودة في التربة الى

حجم العينة المراد قياس مساميتها. ويمكن قياس المسامية حسب المعادلة التالية :

$$n = 100 \times \frac{vp}{v}$$

حيث أن :

n = نسبة المسامية.

vp = عدد المسامات في العينة.

v = الحجم الكلي للعينة.

وتعتمد المسامية على حجم حبيبات التربة وكيفية تركيبها في ظروف

عادية، وتتراوح المسامية السطحية كما يلي :

الصلصال = 45 - 55%

الصلصال الرملي = 40 - 50%

الرمل = 30 - 40%

الحصى = 30 - 40%

رمل وحصى = 20 - 35%

وعندما تصبح الفراغات الموجودة في التربة مملوءة بالماء فإن التربة

تصبح مشبعة بالماء وبعد ذلك تبدأ حركة الماء في الفراغات من خلال الترشيح

تحت تأثير الجاذبية، ويمكن عندما تكون الفراغات مملوءة جزئياً بالماء وتكون

التربة غير مشبعة بالماء أن تصبح حركة الماء مرتبطة باحتمالية معقدة.

ويمكن حساب رطوبة التربة كما يلي :

$$W = 100 \frac{n}{v}$$

W = رطوبة التربة.

n = وزن الماء في عينة التربة.

v = وزن عينة التربة مجففة على درجة 105 م.

وتصنف رطوبة التربة الى الرطوبة القصوى W_{Max} وتحدث عندما تكون المسامات بين حبيبات التربة مملوءة بالماء بسعتها القصوى (السعة الحقلية). والرطوبة الدنيا W_{Min} وتحدث عندما يبقى في مسامات التربة مياه الجاذبية فقط والتي لا تستطيع النباتات رفعها (امتصاصها) والاستفادة منها.

أما عجز الرطوبة فيمكن حسابه كالتالي :

$$DW = W_{Max} - W_o$$

حيث أن:

W_o هي رطوبة التربة الموجودة فيها أثناء القياس.

W_{Max} هي الرطوبة القصوى للتربة.

النفاذية Permeability

وهي قدرة التربة او الصخر على ايصالية الماء. وتعتمد اعتمادا مباشرا على المسامية فاذا كانت المسامية عالية فإن النفاذية قليلة، واذا كانت المسامية قليلة كانت النفاذية عالية. اي أن العلاقة بين النفاذية والمسامية هي علاقة عكسية، فالطين مثلا مساميته عالية لكن نفاذيته قليلة، أما الرمل فمساميته قليلة لكن نفاذيته عالية.

وتعرف نفاذية المادة بمعامل نفاذيتها Coefficient of permeability

ويرمز له بالحرف (K) ويعتمد معامل النفاذية على المسامية والتركيب والعمر الجيولوجي للصخر وحجم وشكل وتوزيع الحبيبات في المادة (جدول 7). ويمكن قياس النفاذية حسب المعادلة التالية :

$$K = C d_{10}^2$$

حيث أن

K = معامل النفاذية (م/يوم)

C = ثابت وتراوح قيمته بين 400 - 1200 ومعدله 1000

d_{10} = حجم الحبيبات (بالمليمتر) حيث أن 10٪ من الحبيبات هي أكثر نعومة و 90٪ هي الأخشن.

جدول (7) درجات النفاذية

التسلسل	درجة النفاذية	السرعة سم/ساعة
1.	بطيئة جدا	أقل من 0.215
2.	بطيئة	0.216 - 0.5
3.	معتدلة البطء	0.6 - 2.0
4.	متوسطة	2.1 - 6.25
5.	معتدلة السرعة	6.26 - 12.5
6.	سريعة	12.6 - 25.0
7.	سريعة جدا	أكثر من 25

حركة الماء الجوفي :

تعتمد حركة الماء الجوفي على النفاذية ولكن قياسها يعتمد على القانون الأساسي وهو قانون دارسي Darcy's Law وينص هذا القانون على أن معدل الجريان لوحدة المساحة بطبقة حاملة للمياه يتناسب طردياً مع المنحدر الشحنة الكامنة Potential head باتجاه الجريان ومعامل النفاذية K .

ولطبقة حاملة للماء مساحتها A والمساحة عمودية على الجريان فإن حركة الماء الجوفي يمكن وضعها حسب معادلة دارسي كما يلي :

$$Q = VA = KAi$$

حيث أن:

V = سرعة الماء م/ث (وتسمى بالسرعة النوعية).

i = الانحدار الهيدروليكي.

والسرعة النوعية هي ليست السرعة الحقيقية ولكنها التصريف على المساحة $\frac{Q}{A} = 1$ والسرعة الحقيقية في الفجوات هي أكبر من السرعة النوعية.

التصريف

ومعدل السرعة الحقيقية = $\frac{\text{التصريف}}{\text{مساحة الممر المائي}}$

مقدار التسرب Volume of Infiltration

ان تصريف الماء أو حركته من سطح الأرض الى داخل الأرض من خلال المسامات الموجودة في التربة تسمى بعملية التسرب Infiltration كما أن التصريف عن طريق الجاذبية الى داخل الطبقات الصخرية يؤدي الى تسرب كبير للماء، كذلك تلعب الخاصية الشعرية Capillary force دوراً مهماً في

حركة الماء في اتجاهات مختلفة تبعاً لاختلاف الرطوبة من الجاف إلى الرطب. هذه القوى تخفي المياه في مسامات صغيرة وتكون حركة الماء وكميتها بطيئة وقليلة، ولكن حين يجد الماء طريقه إلى التربة فإنه يبدأ بالتقطير Percolation.

ويقدر التسرب بالملم/ساعة في ظروف معينة، كما أن مقدار التسرب يعتمد على خصائص التربة الفيزيائية وعلى مقدار محتواها من الرطوبة وعلى الغطاء النباتي ودرجة انحدار السطح وعلى خصائص الأمطار.

التربة ذات النسيج الخشن عادة فيها مسامات أوسع أو أكبر من تلك التربة ذات النسيج الناعم، وكذلك فإن مقدار التسرب في التربة الرملية أكثر بكثير من التربة الطينية. وتساعد النباتات على زيادة حجم المسامات في التربة. وقد أثبتت الدراسات أن مقدار التسرب في تربة المستنقعات السليبية اللومبية بعد 90 دقيقة هو 1.34 بوصة/هكتار، أما نفس الأرض مغطاة بنباتات الحلفا فإن مقدار التسرب هو 0.82 بوصة/هكتار. (جدول رقم (8)).

جدول رقم (8): معدلات التسرب للمياه حسب الغطاء النباتي

الغطاء النباتي	التسرب السنوي / بوصة
أراضي عارية	7.7
أراضي مغطاة بالصنوبر	15.1
أراضي مغطاة بالأعشاب	16.7
أراضي مغطاة بالحبوب	17.2
أراضي مغطاة بالبلوط القزمي	17.4

وقد وضع هورتون Horton معادلة للتسرب كما يلي :

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) \exp (- kt)$$

حيث أن:

f_p = مقدار التسرب البوصة / ساعة منذ بداية سقوط الأمطار .

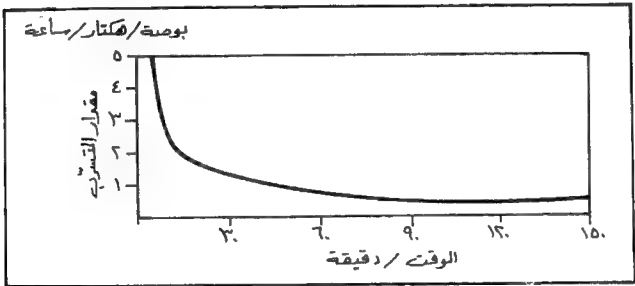
f_0 = مقدار التسرب الأساسي .

f_c = الحد الأدنى الثابت للتسرب .

k = ثابت .

t = الوقت .

وهذا ما يوضحه الشكل التالي : (الشكل 43)



شكل (43) مقدار التسرب / بوصة / ساعة

Ground water exploration **البحث عن المياه الجوفية**

الطبقة المائية الجوفية هي : التكوين الجيولوجي الذي يحتوي على الماء بكمية اقتصادية.

ومن صفات الطبقات المائية أنها مسامية ونفوذة ومشبعة بالماء. وهناك رسوبيات جيولوجية معينة تكون الطبقات المائية الجوفية فيها وهي :

الرمال غير المتماسكة، والحصى gravel of fluvial والرسوبات الجليدية والنهرية، ومناطق الدلتا والصخور الرسوبية خاصة الحجر الجيري والدولوميت، والحجر الرملي والكولميريات، والصخور النارية المسامية.

طرق البحث عن المياه الجوفية :

1. الطرق الجيولوجية

أ. التحضير المكتبي :

— الدراسات السابقة

— الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروجيولوجية.

— التقارير المنشورة.

ب. الاستطلاع الميداني الجيولوجي الأولي.

وذلك لمعرفة ظروف الترسيب والتفاعل، وبداية امتداد الطبقات الحاوية للماء وانظامها. فالتكوين الصخري يشير الى كمية المياه المتوقعة وسمك

الطبقات، والتاريخ الجيولوجي يشير الى عمق الطبقات المائية واستمراريتها وترابطها وحدودها.

ج. تحديد أعماق الحفر:

عن طريق معرفة طبيعة الطبقات الصخرية العليا وبمكها وميلها. كما يعتمد وجود المياه الجوفية الى حد كبير على التضاريس الطبيعية وأشكال الأرض. لذلك فان تفسير الصور الجوية يستعمل بشكل واسع في البحث عن المياه الجوفية. اذ يمكن انشاء الموزاييك من الصور الجوية، يمكن من خلالها استخلاص خرائط مورفولوجية، وخرائط للزراعة والنباتات فضلاً عن خرائط لشبكات التصريف المائي.

د. الحفر التجريبي:

تؤخذ عينات امطوانية للمواد الجيولوجية وعينات من المياه لفحصها كيمياويا ولمعرفة مستوى النطاق المائي.

ويستعمل وصف الآبار (آبار الحفر التجريبي) في تحضير المقاطع العرضية الطبقة وفي رسم السياج التخطيطي او الجيولوجي Diagrams Fence وخرائط خطوط السمك المتساوية Isopach maps وخرائط الوحدات الصخرية Lithofacies maps.

د. التفسير الهيدروولوجي :

يعتبر التفسير الهيدروولوجي رسم خرائط كنثرية لمستويات الماء وخرائط للطبقات المائية الجوفية المشبعة وعينات التحليل الكيماوي للمياه.

2. الطرق الجيوفيزيائية :

توفر هذه الطريقة معلومات أكثر عن ظروف الصخور تحت السطحية مثل نوع الصخور وتماسكها وعمق التجوية وعمق المياه الجوفية وعمق طبقات الأساس ومحتوى المياه من الأملاح.

وأكثر الطرق الجيوفيزيائية شيوعاً في البحث عن الماء هي :

أ. طريقة الجاذبية Gravity method

ب. الطريقة المغناطيسية Magnetic method

ج. طريقة المقاومة الكهربائية Electrical resistivity

د. طريقة المسح الزلزالي Seismic methods

هـ. طريقة المسوحات الحرارية Thermal surveys

و. طريقة الحفر الاختباري Test drilling

أ. طريقة الجاذبية :

تعتمد على قياس الاختلافات في الكثافة على سطح الأرض، والتي قد تدل على التراكيب الجيولوجية، وحيث أن هذه الطريقة باهظة التكاليف وبما أنه نادراً ما يمكن قياس الاختلافات في الوزن النوعي وفي كمية المياه الموجودة في الطبقات تحت السطحية فإن هذه الطريقة لا تستعمل كثيراً في البحث عن المياه الجوفية، إلا في حالات خاصة مثل الرسبات النهرية السميكة المحاطة بمنطقة جبلية حيث يمكن تحسسها من اختلافات الجذب.

ب. الطريقة المغناطيسية :

تعتمد على رسم المجال المغناطيسي للأرض، حيث أن الفروقات المغناطيسية نادراً ما ترتبط بوجود المياه الجوفية فإنها لا تقي بالغرض كاملاً. لكننا نستطيع الاستفادة وبطريقتي المغناطيس والجاذبية في تعيين مواقع الفوالق faults الرئيسية ونطاقات التابع الصخري للطبقات المتماسكة وغير المتماسكة.

وتستعمل الطريقة المغناطيسية لدراسة الطبقات المائية البازلتية والأحواض الغرينية المغطاة بالصخور الرسوبية.

ج. طريقة المقاومة الكهربائية :

المقاومة الكهربائية لتكوين صخري ما هي كمية التيار المار عبر التكوين الصخري عند تسليط جهد كهربائي بين وجهتين متقابلتين من وحدة مكعبه من المادة.

فإذا كانت مقاومة المادة R ومساحة مقطعها العرضي A وطولها L فيمكن التعبير عن المقاومة حسب المعادلة التالية :

$$S = \frac{RA}{L}$$

وتقاس وحدات المقاومة بـ أوم/م ويرمز للأوم بالرمز Ω ويرمز للمقاومة بالرمز Ω_m .

تغير مقاومة التكوين الصخري نتيجة عدة عوامل مثل نوع المادة وكثافتها ومساميتها وشكل وحجم المسامات، وعلى المحتوى المائي ونوعيته

وعلى درجة الحرارة، فمقاومة الصخور النارية على سبيل المثال تعطي ما بين 10 - 10 اوم /م.

تعتمد طريقة المقاومة الكهربائية على إيجاد المقاومة الظاهرية (pa) للمواد تحت السطحية بامرار تيار كهربائي خلال الأرض وقياس فرق الجهد بين نقطتين أو بين قطبين.

يقاس فرق الجهد او الفولتية بواسطة قطبين منفصلين موضوعين بالتناسق والتماثل على الخط الواقع بين أقطاب التيار (شكل 44)، وتكون الشبكة ذات الأقواس الدائرية من خطوط جريان التيار وخطوط الجهد المتساوية، وهي تحكم قياسات فرق الجهد والتيار فوق المنطقة تحت السطحية. لذا تعطي هذه القياسات مقاومة ظاهرية خلال عمق غير محدد. فكلما ازدادت المسافة بين الأقطاب كلما زاد عمق المجال الكهربائي واختلفت المقاومة الظاهرية.

وعند الحصول على خارطة خطوط المقاومة المتساوية يمكن معرفة التغيرات في صخور الأساس وفي عمق الطبقة المائية وفي تتبع ومعرفة الوديان المدفونة والفوالق والنطاقات المكسرة. كذلك يمكن التعرف على التغير في نوعية المياه وتداخل المياه العذبة بالمياه المالحة وخاصة في المناطق الساحلية. وعندما تنخفض المقاومة الكهربائية فان ذلك يغير فعاليته مع الماء المالح.

د. طريقة المسح الزلزالي :

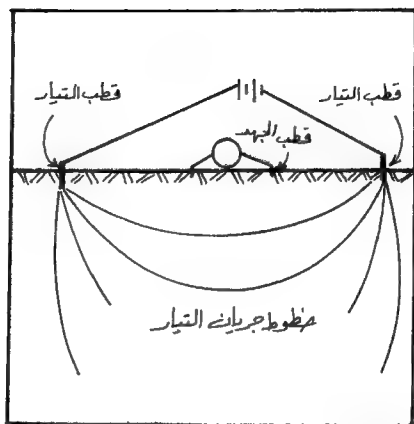
تعتمد الطريقة الزلزالية على قياس سرعة الأمواج الصوتية المارة عبر الطبقات المختلفة وتحديد سرعتها بهدف حساب عمق هذه الطبقات.

ويتم ذلك بعمل حفرة صغيرة عند سطح الأرض بواسطة صدمة من جهاز ثقيل أو تفجير شحنة صغيرة من الديناميت على عمق متر واحد أو أكثر قليلا. وقياس الوقت اللازم لوصول الموجة الصوتية الى مسافات معلومة بواسطة مكتشف الأصوات الذي يسمى الجيوفون Geophone أو انجس الموضوع على سطح الأرض.

يتصل الجيوفون بواسطة سلك بجهاز قياس الدبذبات Oscillograph او بجهاز آخر لتسجيل الموجة الصوتية الأولى التي تصل اليه بعد الصدمة الأولى (التفجير)، وتتراوح سرعة الموجات الصوتية بين 250م/ث في مواد التربة السطحية غير المشبعة الى حوالي 5000 م/ث وأكثر في الصخور المتبلورة (شكل 45).

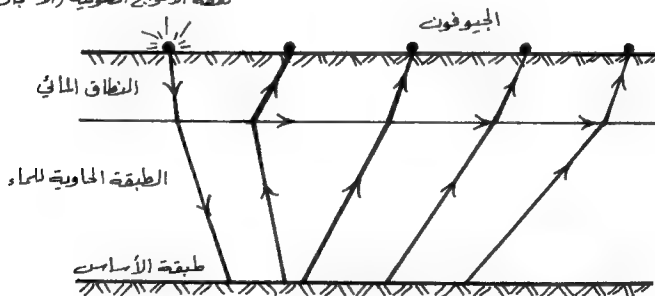
أما في المواد العميقة وغير المتماسكة فانها تصل ما بين 1500م - 2500م/ث في الحالة المشبعة وما بين 300 - 1000م/ث في الحالة غير المشبعة. أما في الطبقات المائية غير المتماسكة فتصل سرعة الأمواج الصوتية الى 250م/ث وفي الصخور المهشمة أو المكسرة فتصل ما بين 1000 - 2500م/ث وفي الحجر الرملي 2000 - 3000م/ث وفي الحجر الجيري ما بين 2000 - 5000م/ث.

ويمكن تطبيق الطريقة الزلزالية الى أعماق تصل الى 100 متر وأكثر. إلا أن هذه الطريقة غير شائعة الاستعمال.



شكل (44) البحث عن الماء الجوفي بواسطة قياس فرق الجهد

نقطة الأعوام الصوتية (الانعيار)



شكل (45) طريقة الانكسار السيزمية لمعرفة عمق الماء الجوفي

هـ - المسوحات الحرارية؛

نستطيع بواسطتها أن نشير الى مواقع الطبقات المائية الضحلة، حيث تعمل مثل هذه الطبقات المائية على احتواء الحرارة خلال المواسم الباردة أي في الشتاء والخريف. الأمر الذي يسبب شلوداً حرارياً في الطبقات المائية أو بالقرب منها.

و. الحفر الاختباري؛

يقدم الحفر الاختباري معلومات صحيحة عن سمك الطبقات المائية ونوعيتها وعن التركيب الجيولوجي أيضاً.

ويتم حفر هذه الآبار بأقطار صغيرة للتحقق من الظروف الجيولوجية وظروف المياه الجوفية. وفي حالة نجاح البئر يمكن إعادة الحفر وتوسيعه بقطر أكبر ليصبح بئراً منتجاً يمكن ضخ المياه منه. ويتم تحديد مواقع الآبار الاختبارية بناء على نتائج الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية. وفي الطبقات الضحلة يمكن حفر الآبار بواسطة مقبب drill. وتعد هذه الطريقة الأكثر شيوعاً والأقل تكاليفاً بين الطرق.

الينابيع : Spring

تتكون الينابيع عند خروج الماء الباطني الى سطح الأرض بشكل طبيعي نتيجة لعوامل الحث المختلفة، أو نتيجة الصدوع التي تصيب سطح القشرة الأرضية. ويكون خروج المياه الجوفية لسطح الأرض ضمن جريان مائي ضعيف

او قوي حسب كثافة ومستوى الماء الجوفي.

وتوجد الينابيع بعدة أشكال أهمها:

1. ينابيع التعرية:

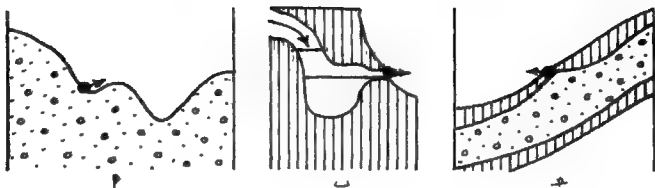
تتكون ينابيع التعرية عندما يتقاطع سطح الأرض في منخفض (وادي) مع سطح الماء الجوفي Water table. وتسمى أحيانا بينابيع مستوى الماء الجوفي Water table spring، وعادة ما يكون تصريف هذه الينابيع صغيراً. (شكل 46 أ).

ب. ينابيع التجمع أو الينبوع السيفوني:

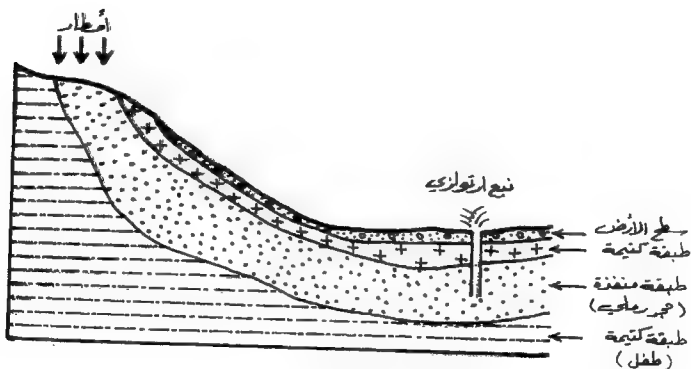
وتكون هذه الينابيع شكلاً من أشكال الينابيع الكارستية الكلسية، حيث تخرج المياه الجوفية من الكهوف الكارستية عندما يكون مستوى الماء الجوفي مرتفعاً فوق مستوى خروج الماء، ويتوقف خروج الماء عندما ينخفض مستوى الماء الجوفي عن مستوى خروج الماء (شكل 46 ب).

ج. ينابيع الوسط المائي:

عند خروج الماء الجوفي داخل وسط مائي (مجرى نهر، بحيرة، بحر) تسمى بينابيع الوسط المائي وهي في الغالب غير مرئية (شكل 46 ج)



شكل (46) أ- ينابيع حث ب- ينابيع تجمع (سفولي) ج- ينابيع وسط مائي



شكل (47) التدفق الارتوازي

2. ينابيع التلاقي:

تتكون ينابيع التلاقي عندما تتقابل الطبقة غير المنفذة والطبقة الحاملة للماء مع سطح الأرض، وغالبا ما توجد هذه الينابيع عند سفوح الجبال وهي قليلة التصريف.

3. الينابيع الارتوازية:

تتكون الينابيع الارتوازية عندما يخرج الماء الجوفي انحصور والمضغوط بين طبقتين غير منفذتين نتيجة ضعف الطبقة غير المنفذة العليا أو نتيجة لوجود شق فيها. وعادة ما يكون تصريف هذه الينابيع كبيرا. (شكل 47)

4. الينابيع الحارة:

تتكون الينابيع الحارة نتيجة للغازات والحرارة تحت سطح الأرض والتي يتدفق منها الماء على شكل نافورة أحياناً أو على فترات. وتكون الينابيع حارة إذا زادت درجة حرارة مياهها عن 5° م عن معدل درجة حرارة الهواء المحيط بمنطقة خروجها. وتصبح مياه هذه الينابيع مالحة إذا زادت فيها نسبة الأملاح من 50غم/لتر.

وتقسم الينابيع الحارة والمعدنية إلى ما يلي :

- أ. ينابيع الشقوق الحارة : وهي المياه التي تخرج من شقوق وفراغات الصخور العميقة.
- ب. ينابيع الصدوع والفوالق الحارة : وهي المياه التي تخرج على امتداد الصدوع والفوالق.
- ج. ينابيع مناطق التماس الحارة : وهي المياه التي تخرج من مناطق تماس الصخور مع الطبقات الصخرية الحارة.
- د. ينابيع الطي الحارة : وهي المياه التي تخرج من الطبقات التي تعرضت لعوامل الطي.
- هـ. ينابيع غرينية حارة : وهي المياه التي تخرج من طبقات مغطاة بالجرين وقادمة من الأسفل.

وتتميز مياه الينابيع الحارة والمعدنية بارتفاع درجة حرارتها واحتوائها على المواد المذابة وغير المذابة وعلى الغازات والأبخرة وأحياناً العناصر المشعة. وعند خروجها إلى سطح الأرض تبدأ الغازات بالتطاير وتنخفض درجة حرارة المياه ويقل ضغطها، وعندما تكون نسبة المواد المذابة في هذه المياه مرتفعة تبدأ

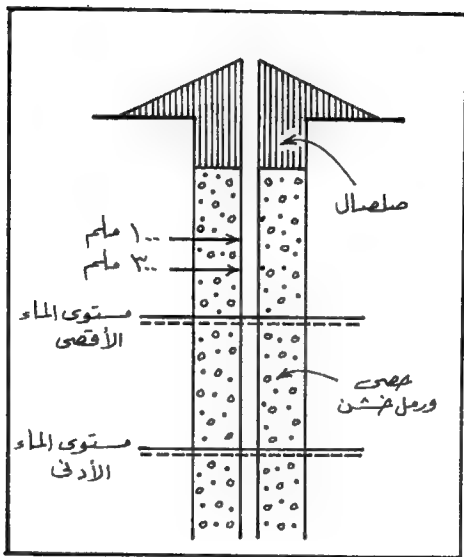
بالتسبب حول الينابيع الحارة حال انسيابها.

ويمكن تصنيف الينابيع بشكل عام حسب كثافة تصريفها الى ما يلي:

1. ينابيع ذات تصريف ثابت جداً، ويتراوح تصريفها بين 1-2 م³/ث.
2. ينابيع ذات تصريف ثابت ، ويتراوح تصريفها بين 2-10 م³/ث.
3. ينابيع ذات تصريف متذبذب، ويتراوح تصريفها بين 30-40 م³/ث.
4. ينابيع ذات تصريف متذبذب جداً، ويتراوح تصريفها بين 30-100 م³/ث.

قياس مستوى الماء الجوفي

بسبب كون المياه الجوفية مخفية تحت سطح الأرض فإنه من الضروري انشاء حفرة أو مجموعة من الحفر والتي تصل الى الطبقة الحاملة للماء. لنزل عمود من المعدن فيها بقطر 300 ملم، ويكون في داخل هذا العمود عامود آخر قطره 100ملم ويكون هذين العمودين مثقوبين من الأسفل لكي تتيح لنا معرفة ما اذا كان هناك ماء جوفي أم لا. يملأ الفراغ الموجود بين العمودين بالخصى من الأعماق وحتى ارتفاع المتر تقريباً قبل مستوى سطح الأرض حيث يملأ هذا المتر الفراغ بالصلصال. أما العمود الداخلي فيبرز خارج سطح الأرض ويكون له غطاء محكم حتى يمنع دخول مواد غريبة داخل هذا العمود، ويبدأ قياس عمق الماء من سطح العامود الخارجي الواقع مباشرة مع مستوى سطح الأرض. ويتم القياس بقراءة الرقم الموضوع على العمود الداخلي، ويكون في نهاية العامود الداخلي "اسطوانة" تعطي رنيناً (صوت) عند اتصالها بالماء. وهنا تتوقف عملية الحفر، ثم تؤخذ قراءة العمق الذي وجد فيه الماء. (شكل 48)



شكل (48) قياس مستوى الماء الجوفي

الفصل الخامس

البحيرات والمستنقعات

البحيرات عبارة عن أحواض أرضية مقعرة أو منخفضة تضريرية مغلقة ممتلئة بالمياه. وتتفاوت مساحاتها وأعماقها تفاوتاً كبيراً وفق الموازنة المائية لكل منها. وتتميز البحيرات عن المستنقعات والسبخات بخلوها من النباتات الطبيعية وزيادة عمقها.

يقدر حجم مياه البحيرات في العالم بحوالي 125 ألف كيلومتر مكعب وهذا يوازي 0.4% من جملة المياه العذبة الموجودة في الكتل القارية المختلفة. وتغطي تلك البحيرات مساحة تقدر بنحو 830 ألف كم². وينحصر نحو 80% من حجم مياه البحيرات في العالم بعدد محدود من البحيرات لا يتجاوز الأربعين بحيرة، وتوزع الـ 20% الباقية على عدد هائل منها لا حصر له، ففي ولاية الاسكا الأمريكية وحدها نحو ثلاثة ملايين بحيرة.

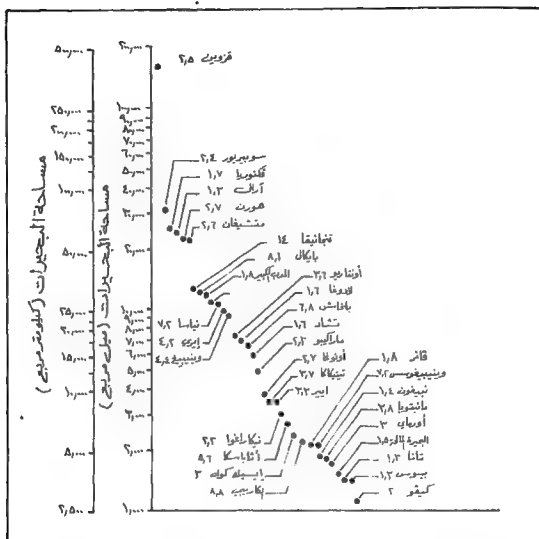
وتعد بحيرة بايكال أضخم بحيرة في العالم من حيث حجم المياه كما أنها الأعمق، إذ تحتوي على 22 ألف كم³ من المياه، تليها بحيرة تنجانيقا (19 ألف كم³) ثم بحيرة سويريور (12 ألف كم³). أي أن هذه البحيرات الثلاث تضمان معاً 42.4% من مجمل مياه بحيرات العالم.

شكل البحيرات ومساحتها :

يحتل بحر قزوين المرتبة الأولى من حيث المساحة، إذ تصل مساحته

قاربة 436.000 كم²، ويعد هذا البحر استثناء بمساحته كما هو ملاحظ بالشكل (49) ويلاحظ أن أكبر البحيرات هي تلك الناجمة عن حركات تكتونية أو الناجمة عن الحركات الجليدية مثل Laurentian Great lakes وهناك مجموعة أخرى تتميز بطولها وعمقها مثل بحيرات الأودية الجليدية، والفيوردات، وبحيرات السدود. وهناك مجموعة أخرى تتميز بكونها بحيرات متواضعة المساحة والعمق مثل : Scour lakes، بحيرات الخلبة الجليدية، Cirques، البحيرات الكوعية Oxbow lakes، بحيرات الضفاف Levee lakes، ثم Kettle lakes، Wetland lakes، واللاجون Lagoons، والبحيرات الاصطناعية الصغيرة.

يبين الشكل رقم (49) النسبة بين الطول والعرض للبحيرات التي تزيد مساحتها عن 2500 كم². بحث يلاحظ أن هذه النسبة ترتفع في البحيرات الصدعية مثل بحيرة بايكال ونياسا وتنجانيقا، أو البحيرات الصناعية مثل بحيرة ناصر عند نهر النيل وبحيرة Kariba على نهر الزمبيزي بأفريقيا. ويجب الأخذ بالاعتبار بأن البحيرات الأكبر ليست هي الأعمق. فبحيرة بايكال هي أعمق بحيرة في العالم إذ يصل معدل عمقها نحو 1610 متر، تليها بحيرة تنجانيقا بعمق يصل إلى 170 متر، أما بحر قزوين فإن معدل عمقه يصل إلى 945 متر، وبحيرة فكتوريا لا يزيد عمقها عن 79 متر فقط، وهناك بحيرة تشاد التي أصبح جزء كبير منها جاف. مثال آخر فإن بحيرة الملح الكبرى بولاية يوتا الأمريكية فإن مساحتها تتراوح ما بين 2900 - 5200 كم² بمعدل عمق يصل 11 متر فقط، كما أن بحيرة كيفو تصل بمساحتها إلى 2700 كم² فإن عمقها يصل إلى 489 متر، بينما بحيرة Crater التي تصل مساحتها 52 كم² فقط فإن عمقها يزيد عن 580 متر.



شكل (49) النسبة بين الطول والعرض للبحيرات التي تزيد مساحتها عن 2500 كم²

تصنيف البحيرات حسب نشأتها :

يمكن تقسيم بحيرات العالم حسب نشأتها الى المجموعات التالية :

1. البحيرات التي نشأت بفعل الحركات الأرضية :

تسبب الحركات الأرضية الكبرى كما حصل بنهاية المايوسين تكون فجوات أرضية قد تمتلئ بالمياه اذا توفر مصدر مناسب لها. وقد يكون بعضها كبير المساحة مثل بحر آرال وبحر قزوين. فبحيرة فكتوريا نجمت عن ارتفاع وهبوط في القشرة الأرضية، وبحيرة بايكال ونياسا وتنجانيقا والميت نجمت جميعها بسبب حركات أرضية ضخمة.

وهناك بحيرات ناجمة عن الحركات الأرضية التي يرافقها انشقاق براكين، تشغل فوهاتنا أحيانا بحيرات مثل بحيرة كريبز بولاية أوريغون، وقد تسبب الحمم البركانية اخلاق الانجاري المائية الطبيعية فتكون أمام هذا السد الطبيعي بحيرة مثل بحيرة كهفو وبحيرة طبرية. وقد تنجم بحيرات مؤقتة أمام كتل أرضية تنزلق لتغلق الانجاري المائية الطبيعية ولكن لا تلبث مثل هذه البحيرات وتزول بفعل التعرية المائية.

2. البحيرات الجليدية :

وهذا النوع يمكن أن يحدث بسبب :

- أ. اقفال مجروفات الأودية الجليدية للمجاري الطبيعية فتكون أمامها بحيرات مثل بحيرة Duluth وبحيرة Malaspino بالاسكا.

ب. احتجاز المياه ما بين سلاسل من الارسابات الجليدية (مورينات) مثل بحيرة Finger lakes بنيويورك.

ج. الحت الجليدي Ice scour مثل البحيرات الموجودة بمنطقة Canadian and Scandinavian shield (الدرع الكندي والدرع الاسكندنافي).

د. تأثير التقلص والتمدد (Freeze - thaw) عند رؤوس الفلاجات الجبلية مثال ذلك بحيرات السيرك Cirque lakes

هـ. بحيرات الأودية الجليدية وتدعى هذه الظاهرة بالفيوردات.

و. تشغل المياه رقاعاً صغيرة في المناطق التي غزتها الجليديات تتميز بتواضع أبعادها ويسمى هذا النوع Kettle ومن الجدير ذكره أن البحيرات العملاقة بالدرع الكندي مثل بحيرة الدب الكبير، وبحيرة العبد الكبير، وبحيرة Athabasca وبحيرة وينبغ Winnipeg وبحيرة Laurentian great lakes تعود جميعها الى اجتياح الجليديات لهذه المنطقة.

3. بحيرات تكونت بفعل الارسابات النهرية.

تنشأ البحيرات بفعل الرواسب النهرية على الشكل التالي :

أ. عند مصبات الأنهار.

ب. على جوانب النهر (بحيرات الضفاف)

ج. البحيرات الكوعية الناجمة عن تطور الأكواع النهرية.

د. بحيرات طولية ناجمة عن هجرة النهر لجراه الاعتيادي.

4. البحيرات الناجمة عن الحت والارساب الريحي :

تعمل الرياح على نحت المناطق الضعيفة التكوين ضمن المناطق الجافة، بحيث تعمل على تقعرها حتى تصل الى مستوى الماء الجوفي الذي يشكل بانسيابه بحيرات صحراوية كما هو الحال بمنخفض النطرون بمصر حيث توجد بحيرات : الفاسدة، وام الريشه والرايزونية والحمراء والزحم والبيضاء والخضراء، وفي الأردن يمكن اعتبار منخفض الأزرق من هذا الطراز. وقد تعمل الارسابات الريحية في بعض المناطق شبه الرطبة على تكون بحيرات متواضعة الأبعاد في المناطق الساحلية كما هو الحال بمنطقة Les landes بجنوب فرنسا.

5. البحيرات الاصطناعية :

تتكون أمام السدود على الأنهار الكبرى في العالم مثل بحيرة ناصر على نهر النيل وبحيرة كاريا على نهر الزمبيزي وبحيرة ميد Mead بولاية اريزونا.

6. البحيرات الساحلية :

تشكل جزء منها الر انحسار البحر بعد انتهاء فترة البلايستوسين، حيث عملت بعض الحواجز الصخرية والارساوية على حجز المياه خلفها، فتشكلت تلك البحيرات الساحلية كبحيرة المنزلة والبرلس ومريوط على الساحل الشمالي لمصر. أو بسبب عمليات الارساب التي تقوم بها التيارات البحرية بعيداً عن مناطق الدلتا.

وهناك أنواع أخرى من البحيرات تنشأ بفعل الاذابة الكارستية، أو بفعل تجمع المواد العضوية على شكل برك عملاقة، أو بواسطة ذوبان آفاق الجليد الدائمة التجمد.

كثافة مياه البحيرات :

تتأثر كثافة مياه البحيرات بالدرجة الأولى بدرجة الحرارة ثم المواد الصلبة العالقة والمواد الذاتية. أما تطبيق الكثافة فتتأثر بشكل أوضح بالمواد العالقة الدقيقة جداً. ففي المياه العذبة فإن أقصى كثافة لها تكون عندما تكون درجة حرارة المياه 4°C م عند السطح، ثم تبدأ بالانخفاض كلما تعمقنا بسبب الضغط، حيث تصل درجة الحرارة إلى 3.4°C م على عمق 500 متر.

وتحت الظروف الفصلية، وما ينتج عنها من تغير بدرجة حرارة السطح، فإن حركة مزج للمياه لا تلبث وأن تظهر في محاولة للبقاء على التوازن الحراري. ففي المناطق الباردة جداً يتجمد سطح البحيرة، وتبقى الطبقات الأسفل منها أعلى كثافة نظراً لكون درجة الحرارة قريبة أو تساوي 4°C م.

أما في الصيف عندما تزيد درجة حرارة المياه السطحية عن 4°C م فإن كثافة المياه العميقة تكون أعلى، وتبقى الكثافة متطبقة Stratification بشكل ثابت. حيث تنفصل الطبقة السطحية Epilimnion بشكل واضح عن المياه العميقة الباردة Hypolimnion .

يحصل الخلط بالبحيرات التي تقع ضمن المناطق المعتدلة مرتين بالسنة واحدة في الربيع وأخرى بالخريف وتدعى هذه البحيرات Dimitic، أما البحيرات الجبلية بمناطق العروض العليا حيث لا تزيد درجة حرارة المياه السطحية من 4°C م فإن المزج لا يحصل إلا مرة واحدة في السنة وتدعى هذه البحيرات Monomictic lake. نفس الشيء يحصل في بحيرات العروض الدنيا حيث يمكن أن لا تقل درجة حرارة مياه سطح البحيرات هناك عن 4°C م وبالتالي

فان عملية الخلط لا تحدث سوى مرة واحدة بالسنة. وتدعى هذه البحيرات Moromictic ، والتي يبقى تطبق كثافتها ثابتاً نسبياً، مثال ذلك بحيرة تنجانيقا، وان حصل خلط بها فيكون ناجماً عن تزودها بمياه طازجة جديدة.

دورة المياه ضمن البحيرات :

تتأثر حركة المياه في البحيرات بشكل رئيسي بالرياح. فعندم انتظام هبوب الرياح وعدم انتظام شكل البحيرات يؤدي الى عدم انتظام حركة مياه البحيرات. وقد قامت عدة جهات بمحاولة لدراسة هذه الحركة بعدة وسائل عن طريق الملاحظة المباشرة والقياس واعداد النماذج الرياضية والاحصائية المعقدة، ومن أبرز الجهود التي بذلت في هذا المجال على بحيرة أونتاريو خلال 18 شهراً متواصلا (1972-1973)، والتي قامت بها : The International (IFYGL) Field Year on the Great Lakes.

وقد تبين من تطبيق العديد من المعادلات الخاصة بعلم الهيدروميكانيك وبخاصة نماذج Reynolds، ان حركة الرياح الثابتة ستؤدي الى نشوء ما يدعى Set up وقوف مياه سطح البحيرة. حيث تعمل الرياح القوية في المياه الضحلة على ايجاد المحدار شديد ضمن مياه سطح البحيرة. وعندما تغيب / او تختفي الرياح القوية الثابتة يظهر تذبذب محلي بمستويات مياه سطح البحيرة وتدعى هذه الظاهرة Seiches ومن المرجح ان تكون هذه الظاهرة ناجمة عن تباين الضغط الجوي على نطاق محلي بين منطقة وأخرى من البحيرة.

وتسبب الرياح أيضا بوجود التيارات البحرية ضمن البحيرات الكبرى

وبخاصة في المناطق المخاضية للسواحل، وتسجل بعضها سرعات عالية قد تصل الى 30سم/ ثانية وبخاصة بعد هبوب العواصف العنيفة، وتسير هذه التيارات عادة بجوار السواحل وبموازاته، بينما تكون سرعة التيارات المائية في الغالب أقل من سرعتها على السطح. كما يساهم اختلاف درجة حرارة مياه البحيرة واختلاف كثافتها تبعاً لتتابع الفصول الى ظهور بعض التيارات المائية الداخلية. وقد طورت العديد من النماذج الرياضية للدراسة هذه التيارات المائية أشهرها (TGM) Topographic Gyre Model.

المستنقعات : Wetlands

وهي عبارة عن مسطحات مائية ضحلة تتجمع فيها العديد من خصائص المسطحات المائية والأراضي اليابسة فهي بساط رقيق من جذور النباتات الطبيعية يغمر بالمياه معظم الوقت أو خلال فترات محددة من السنة. ويمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من هذه الأراضي المغمورة بالمياه.

أ. المستنقعات Swamps :

وهي مسطحات مائية أعماقها محدودة تنمو بها الأشجار بكثافة ومثال ذلك مستنقعات المانجروف في الأقاليم المعتدلة.

ب. السبخات Marshes :

مسطحات مائية ثابتة العمق تنمو بها الحشائش بكثافة واضحة وتكاد تخلو من الأشجار ويمكن مشاهدة المياه فيها بالعين المجردة. وتكثر في السهول الفيضية والأقاليم الساحلية في المناطق المدارية.

مسطحات خالية من الحركة تبدو جافة ولكنها في الحقيقة مبللة بالمياه، وتنمو بها الطحالب بفصائلها المختلفة، وأغلب تواجدها يكون في العروض المعتدلة والباردة.

وتعتبر المستنقعات بأنواعها المختلفة من البيئات الطاردة للسكان، لما تسببه من خطر على حياة السكان، فهي موئل مناسب للبعوض، الذي يسبب مرض الملاريا، كما أن بعض المواد العضوية يؤدي إلى تكوين غازات خائفة ملوثة للجو. وقد لجأت العديد من الدول إلى تجفيف المستنقعات التي تسبب ضرراً مباشراً للسكان كما حدث في مصر، عندما جففت مياه المستنقعات التي تقع شرق بحيرة مريوط، وتجفيف بحيرة أبي قير، كما لجأت دولة إسرائيل إلى تجفيف مستنقعات الحولة بفلسطين المحتلة.

وللمستنقعات بعض الفوائد الهامة، فقد تكون هذه المستنقعات محطة مهمة من محطات رحلة الطيور القصيلة كما في بعض مستنقعات الأزرق، كما أنها مزود رئيسي للمياه الجوفية بالمياه الطازجة، فضلاً عن كونها خزانات مائية ضخمة تعمل على التخفيف أحياناً من حدة الفيضانات كما هو الحال في أهوار العراق، كما أنها في بعض الأحيان مصائد مناسبة للغبار، وتحد من الزوابع الرملية في المناطق الصحراوية كما في جنوب العراق. وتعيش أحياناً بالمستنقعات أحياء مائية لها مردود اقتصادي واضح. حيث تربي بها التماسيح في بعض المناطق، كما تزدهر بها أحياناً صناعة صيد السمك، والصيد البري، حيث تكثر الطيور البرية. وتستخدم المستنقعات أحياناً لأغراض السياحة كما في مستنقعات

الفرجلادز بولاية فلوريدا، ومستنقعات برودلاند Broundland بمقاطعة East Anglia ببريطانيا، ومستنقعات كامارج Camargue في وادي الرون بفرنسا. كما تعد المستنقعات مصدرا مهما لمادة اللبد، والتي تمثل المراحل الأولى لتكون الفحم الحجري، حيث يجري تجفيفه ثم حرقه لأغراض مختلفة، كما في روسيا وفنلندة وايرلندة وألمانيا وكندا وماليزيا والولايات المتحدة الأمريكية.

البحار والمحيطات

تشغل البحار والمحيطات مساحة تقدر بنحو 367.2 مليون كم²، أي ما يعادل 71٪ من مساحة الكرة الأرضية. وتضم البحار والمحيطات مياه يقلر حجمها بحوالي 1347.7 مليون كم³، وهذا يعادل 97.3٪ من حجم مياه الكرة الأرضية البالغة قرابة 1385 كم³.

وتفاوتت نسبة المساحة التي تشغلها البحار والمحيطات من مكان الى آخر على سطح الكرة الأرضية، اذا أن المفضص نجسم الكرة الأرضية يشاهد بأن الماء هو السائد جنوب خط عرض 50 درجة (جدول 9) كما يلاحظ تداخل المحيطات مع القارات. كما أن المسطحات المائية تتخذ شكل المثلثات كما هو الحال بالنسبة للمحيط الأطلسي.

ومحيطات هي : تلك المساحات المائية الواسعة التي تتصل ببعضها عن طريق فتحات واسعة، أما البحار فهي : مساحات مائية أصغر كثيرا من المحيطات في اتساعها حتى ان بعضها ضحل، وتكاد تملأ البحار من التيارات الرئيسية، والمياه فيها أكثر هدوءاً من المحيطات (جدول 9).

جدول رقم (9) توزيع اليابس والماء في العروض المختلفة

نصف الكرة الجنوبي		نصف الكرة الشمالي		درجة العرض
نسبة اليابس	نسبة الماء	نسبة اليابس	نسبة الماء	
100	—	—	100	90-85
100	—	12.8	80.2	85-80
89.3	10.7	22.9	77.1	80-75
61.4	38.6	34.5	65.5	75-70
20.5	79.5	71.3	28.7	70-65
0.3	99.7	69.8	31.2	65-60
0.1	99.9	55.0	45.0	60-55
1.5	98.5	59.4	40.7	55-50
2.5	97.5	56.2	43.8	50-45
3.6	96.4	48.8	51.2	45-40
6.6	93.4	43.2	56.8	40-35
15.8	84.2	42.3	57.7	35-30
21.6	78.4	40.4	59.6	30-25
14.6	75.4	34.8	56.3	25-20
21.6	76.4	29.3	70.8	20-15
25.4	79.6	23.5	76.5	15-10
23.1	76.9	24.3	75.7	5-10
24.1	75.9	21.4	78.6	5-صفر

المصدر: الصحاف، مهدي وآخرون، "علم الهيدرولوجي"، بغداد، 1983.

جدول (10)، مساحة البحار والمحيطات وأقصى عمق لها

البحر أو المحيط	المساحة / كم ²	العمق/م	البحر أو المحيط	المساحة / كم ²	العمق/م
المحيط الهادي	165384	11524	بحر الصين الشرقي	1248	2999
المحيط الأطلسي	82217	9560	البحر الأصفر	1243	91
المحيط الهندي	73481	9000	خليج هدسون	1233	259
المحيط المتجمد الشمالي	14056	5450	بحر اليابان	1008	3743
البحر المتوسط	2505	5846	بحر الشمال	573	661
بحر الصين الجنوبي	2318	5514	البحر الأحمر	438	3346
بحر بيرنج	2269	5121	البحر الأسود	461	2245
البحر الكاريبي	1943	7100	بحر البلطيق	422	460
بحر اوخوتسك	1528	3475	خليج المكسيك	1544	4377

المصدر: الصحاف، مهدي وآخرون، مرجع سابق، 1983.

نشأة البحار والمحيطات :

تعد نظرية زحزحة القارات continental Drift لفيجنر Wegner في بداية القرن العشرين. أهم نظرية تعالج تشكل البحار والمحيطات، حيث افترض ان الأرض كانت تتألف من كتلة تسمى بنجاليا مجزأة الى قسمين : الأول ويدعى بكتلة لوراسيا Laurasia والثاني ويدعى بكتلة جندوانا Gondwana ويقع بينهما بحر يدعى بحر تيثيس Tethys، وكان اليابس بهذا العصر (الكربوني)

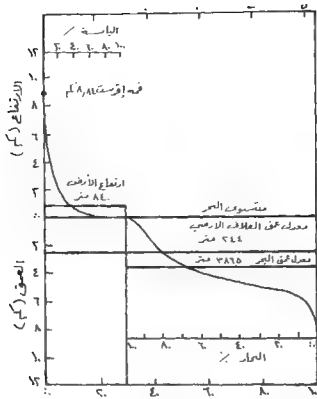
يتركز حول القطب الجنوبي، وبدأت كتلة بنجاليا تتفسخ بهذا العصر وتتباعد بفعل قوة الطرد المركزي، وتحافظ على نوع من التقارب بفعل جاذبية كل من الشمس والقمر.

ولم تشغل الفراغات البينية بالماء الا بعد فترة من الوقت، حيث كانت الأرض مغلفة بطبقة كثيفة من السحب استمرت فترة طويلة، وكانت المياه المتكثفة والمتساقطة على الأرض، لا تلبث وان تتبخر مرة أخرى بفعل ارتفاع حرارة الأرض، واستمر التساقط والتبخر على حاله حتى بردت الأرض، وأصبح من الممكن تجمع قطرات الماء لتشكل فيما بعد البحار واغيطات.

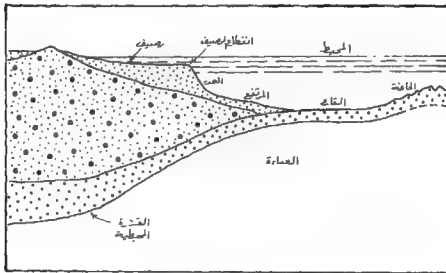
ولم تكن نظرية فيجنر كافية لتفسير نشأة وتطور البحار واغيطات الى أن ظهرت نظرية Floor Spreading انتشار القاع ونظرية تكتونية الصفائح Plate Tectonic ، وقد تم تبني هاتين النظريتين بناء على اختلاف الحقل المغناطيسي للأرض وتغير أقطابها المغناطيسية عبر العصور الجيولوجية. ويعود الفضل في هذا الكشف العلمي الهام الى العالم Golmar Challenger عام 1968 عندما بدأ مشروعاً ضخماً لدراسة قاع اغيطات مبني على أساس اخذ عينات من قيعان البحار واغيطات بواسطة الحفر drillig.

جغرافية البحار واغيطات :

يظهر الشكل (50) أن 71٪ من سطح الأرض يقع تحت مياه البحار واغيطات. وأن متوسط ارتفاع سطح اليابسة نحو 840 متر وان متوسط أعماق اغيطات هو 3865 متر. وقد مكنت التقنيات الحديثة استكشاف معظم جغرافية البحار واغيطات التي كان يعتقد بأنها مستوية.



شكل (50) نسبة اليابسة والبحار والمحيطات من مساحة الكرة الأرضية



شكل (51) الظواهر الطبوغرافية في الهامش القاري للبحار والمحيطات

الهامش القاري Continental margin

ان معرفة الانسان بأعماق البحار والمحيطات أكثر دقة بمناطق الهامش القاري Continental margin من معرفته بمناطق الأعماق، ويعد الهامش القاري امتداد طبيعي للقارات والمغمور بمياه البحار والمحيطات، وقد أمكن تمييز الظواهر الطبغرافية التالية من هذا الهامش القاري (شكل 51).

الرصيف القاري : Continental Shelf

يعتبر الرصيف القاري جيولوجيا جزء من القارة، وقد تعرض للانحسار المياه عنه عدة مرات عبر العصور الجيولوجية، لذلك يمكن تعريف الرصيف القاري بأنه النطاق الممتد من الساحل shore تحت سطح البحار والمحيطات حتى النقطة التي يبدأ عندها الانحدار بالتغير المفاجئ، والخط الراصل بين هذه النقاط يدعى Continental Break ، ويلى خط الانقطاع هذا نطاق المنحدر القاري.

ويتراوح عرض الرصيف القاري ما بين بضعة أمتار الى 1300 كم كما هو الحال بسواحل أمريكا الشمالية باتجاه المحيط المتجمد الشمالي. أما المعدل العام لعرض الرصيف القاري فيصل الى 70 كم، ومعدل عمق المياه عند خط الانقطاع يصل الى 135 متر، ويبلغ معدل انحدار الرصيف القاري 0.1 أو 1.9م/كم.

المنحدر القاري : Continental Slope

يلى خط الانقطاع Continental Break نطاق المنحدر القاري الذي ينحدر باتجاه الأعماق بمعدل 4.3 وبعمق يتراوح ما بين 3-4 كم. ويعد المنحدر

القاري للمحيط الهادئ الأكثر انحدارا حيث تصل درجة انحداره الى خمس درجات بينما يصل معدل الانحدار للمنحدر القاري باغيط الأطلسي الى ثلاث درجات فقط.

الخنادق المحيطية Submarine Canyon

يتقطع الرصيف القاري بعدد من الخنادق Canyons ، وقد يكون بعضها امتدادا للخنادق النهرية على اليابسة وهذه الخنادق العملاقة خنادق فرعية حادة الجوانب، ويرجع سبب نشأة هذه الخنادق الى ما يدعى بالتيارات العكسة Turbidity Currents التي تجلب معها نتاج تعرية القارات باتجاه القيعان، فتعمل على حث الرصيف القاري واحداث تلك الخنادق، ولذلك نجدها أحيانا منظرية لنظم التصريف النهرية على اليابسة.

المرتفع القاري : Continental Rise

عند اقدام المنحدر القاري تتجمع نواتج غسل المنحدرات القارية على شكل مخاريط ركامية تشبه المراوح الفيضية على اليابسة التي تشبه الأسافين Wedges، وتدعى هذه الأسافين مجمعة كظاهرة طبغرافية تحت سطح الماء بالمرتفع القاري Continental Rise، ويتميز هذا النطاق باعتدال انحداره العام، وأكثر تواجد للمرتفعات القارية في المناطق القديمة ذات السواحل المستقرة. فسواحل المحيط الهادئ نظرا لعدم استقرارها لا تحتوي على مثل هذه الظاهرة، حيث تبطل المخروقات القادمة من الرصيف القاري ولا يعلم أين تذهب⁽¹⁾.

(1) لمزيد من التفاصيل عن خصائص وأساليب نشأة وتطور الخنادق المحيطية يمكن الرجوع الى : يوسف فايد، جغرافية البحار والمحيطات، دار الثقافة والنشر، القاهرة، 1993، ص 194-205.

قيعان البحار والمحيطات Deep Ocean Basin

من الصعب تحديد قاع المحيط. إلا أنه يبدأ عند انتهاء المرتفع القاري The Rise. وتشغل قيعان المحيطات نحو 30٪ من مساحة العالم و 42٪ من مساحة المحيطات و 53٪ من مياه تلك المحيطات. (جدول 11)

جدول رقم (11) بعض الخصائص المورفومترية للأقاليم الطبغرافية للمحيطات

الاقليم	النسبة من مساحة العالم	النسبة من مساحة اغيطات	النسبة من مياه المحيطات	معدل الانحدار /درجة	معدل العرض / كم
الرصيف	6	9	0.2	0.1	75
المنحدر	4	6	3	4.3	50
المرتفع	4	5	5	0.2	40
القاع	30	42	53	—	—
المرتفعات المحيطية	23	33	33	0.2	1700
الأخاديد	1	2	4	3.0	100
البراكين	2	3	2	—	—

المصدر : K.S. Stow, 1979, p.29

السهول السطحية : Abyssal plains

ينتشر على السهول المحيطية Abyssal plains مجموعة من تلال القاع Abyssal hills أو Seaknois وهي أكثر ظاهرات سطح الأرض وفرة، وترتفع عن قاع المحيط بنحو 900 متر، فهي ليست تلال بالمعنى المتعارف عليه وليست

جبالا بمعناها الحقيقي، أما المناطق المستوية بقاع المحيطات فتدعى السهول المحيطية، ويعود استوائها الى الرواسب التي تجلبها التيارات المحيطية العكسة.

الأخاديد المحيطية : Trenches

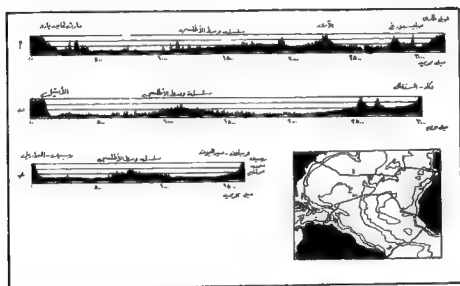
تقع المرتفعات القارية عادة عند قواعد المنحدرات القارية ويقطع هذه المنحدرات أحيانا أخاديد عميقة ضيقة ذات جوانب شديدة الانحدار، وتوجد أخفض بقاع الأرض على الاطلاق ضمن هذه الأخاديد، وبعد أخذود ماريانا Mariana أعماقها (11022م). وقد يكون للحركات الجيائية / التكتونية لسطح الأرض دورا كبيرا في نشأتها. فهي ترتبط ارتباطا وثيقا بنطاقات ضعف القشرة الأرضية.

المرتفعات المحيطية : Mid Ocean Ridges

إن اكتشاف هذه المرتفعات قد ساعد في تطوير نظرية الصفائح التكتونية. فإليها يعود الفضل في اتساع شقة المحيطات وتولد بحار ومحيطات جديدة. يصل مجموع أطوال هذه السلاسل الجبلية المحيطية الى 65 ألف كيلومتر، أي ما يعادل $1\frac{1}{2}$ محيط الكرة الأرضية، ويبلغ متوسط عرضها ما يزيد عن ألف كم، وتبدو أكثر عرضا في المناطق لأكثر نشاطا، وترتفع عن قاع المحيط ما بين 1-2 كم وقد يزيد ارتفاعها عن ذلك، وتتجاوز سطح الماء (شكل رقم 52).

وتتميز منطقة قمة السلسلة بعورتها الشديدة، التي تسير على طول السلسلة موازية لواد بنوي Rift Valleg يقع بمنتصف قمة السلسلة، يتراوح عرضه ما بين 12-18 كم ويعمق يتراوح ما بين 0.5 - 1.5 كم. وتتميز هذه المنطقة بنشاطها البركاني، وبانحدار جوانبها الشديد، وتقل وعورة جوانب

متحدرات السلاسل الجيظية كلما ابتعدنا عن قمته. ويتفرع من الصدع الرئيسي في الوسط صدوع فرعية متعامدة معه تؤلف سوية نطاقا يدعى احيانا **Fracture Zones**.



شكل (52) قاع المحيط الأطلسي

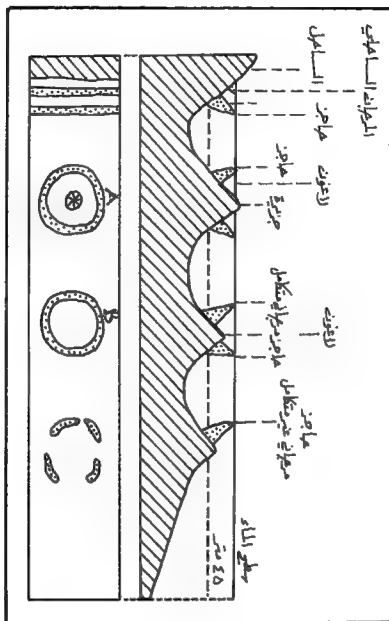
الظواهر البركانية Volcanic Features

تظهر معظم النشاطات البركانية ضمن نطاقات تصادم الصفائح subduction zones، وغالبية ما تبقى يقع على طول السلاسل المحيطية. ولكن يمكن القول بأن المحيط الهادي يحتوي على عدد هائل من المظاهر البركانية وبخاصة الجزر، التي يصل عددها الى 20.000 ظاهرة بركانية.

وتحاط الجزر البركانية المحيطية بصخور بازلتية تصلبت بعد أن انتشرت على جوانب البركان وشكلت منحدرات لطيفة فضلا عن الانسيابات البازلتية على قاع المحيط. تمتد قمم البراكين قرابة الكيلومتر فوق السهل المحيطي، وتتميز باستواء قممها ولذلك تدعى الجبال المائدية table mounts أو الجبوتs guyots. وتقع قمم هذه الجبوتات أسفل سطح المحيط الحالي بنحو 1800-2000 متر، ولذلك يمكننا القول بأن استواء قمة هذه التسالل البركانية قد تعود الى نشاط الأمواج المحيطية.

الجزر المرجانية : Atolls

كما هو واضح في الشكل (53) فإن المناطق المدارية او ما يدعى Balmy climates فإن المرجان ينمو بسرعة، حيث يبدأ المرجان بالنمو حول المخروط البركاني، ويستمر نمو المرجان وبتفسي الوقت يهبط مستوى المخروط البركاني حتى يختفي تحت الماء، ويستمر أيضا نمو المرجان حتى يشكل حلقة متكاملة تحجز بداخلها بحيرة صغيرة لتصل مع البحر بممر ضيق، ويصل عمر الجزر المرجانية الحالية قرابة 6000 سنة وهو التاريخ الذي يمثل استقرار سطح البحر الحالي.



شكل (53) أنواع الحواجز المرجانية

الخصائص الطبيعية لمياه البحار والمحيطات

الملوحة : Salinity

نظرا لقدرة الماء على الاذابة فانه ليس غريبا ان تجد مياه البحار والمحيطات معظم العناصر الكيميائية المعروفة والتي يصل عددها الآن 92 عنصرا. فقد تم التعرف على 80 عنصر منها في مياه البحار والمحيطات، ويمكن العثور على أكثر من ذلك مستقبلا . وتعد مياه البحار والمحيطات محلولاً مالحة جاءت معظم مكوناتها من القشرة الأرضية أو من عباءة الأرض Earth's mantle بفعل النشاطات البركانية.

ورغم التنوع الهائل بمكونات مياه البحار والمحيطات إلا ان ستا منها تشكل نحو 99٪ من مجمل أملاح البحار والمحيطات وهذه المركبات تعود الى العناصر التالية : الكلور 55٪ من وزن الأملاح الموجودة في البحار والمحيطات عندما تكون نسبة الملوحة 34.07 ‰ ثم الصوديوم 30.61 ‰ فالكبريت 7.68 ‰، فالمنغنسيوم 3.69 ‰، فالكالسيوم 1.16 ‰، وأخيرا البوتاسيوم 1.1 ‰.

وتعود أملاح البحار والمحيطات الى النشأة الأولية لتلك المحيطات بالإضافة الى ما تنقله مياه الأنهار والجداول عندما تذيب مياه الأمطار أملاح الصخور، وعندما تغسل تلك المياه أملاح تربة اليابسة. وتزداد الملوحة داخل المسطحات المائية وتقل قرب السواحل وعند مصبات الأنهار. ويصل المعدل العام للملوحة البحار والمحيطات قرابة 35 بالآلف. وتكفي الأملاح الموجودة في البحار والمحيطات لتغطية سطح الأرض بطبقة من الأملاح يصل سمكها 45 مترا.

وتتأثر نسبة الملوحة بموقع البحار والمحيطات بالنسبة لخط الاستواء، فهي قليلة قرب ذلك الخط بسبب ارتفاع كمية الأمطار، وتزيد في المناطق المدارية حيث درجة الحرارة مرتفعة ونسبة التبخر عالية أيضا، كما تقل نسبة الملوحة قرب المناطق القطبية بسبب ذوبان الجليد. كما تتفاوت نسبة الملوحة من فصل الى آخر نتيجة تباين درجة الحرارة وبكميات الأمطار. فضلا من ذلك فان مدى انفتاح البحار على المحيطات يلعب دورا كبيرا في تباين نسبة الملوحة.

وتتفاوت نسبة الملوحة في مياه البحار والمحيطات حسب العمق، فهي متقلبة في الأعلى، وفي الأسفل أكثر استقرارا وتجانسا.

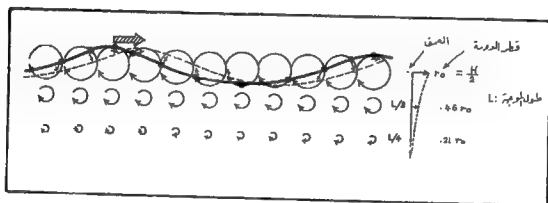
الأمواج : Waves

يبين الشكل رقم (54) أجزاء الموجة، حيث يمثل ارتفاع الموجة المسافة العمودية ما بين قاع الموجة Trough وذروتها crest، ويمثل مسدى السدوة Amplitude المسافة العمودية ما بين مستوى ماء البحر وقمة الموجة، وطول الموجة يمثل المسافة ما بين قمتين او قاعين متتالين، ومسرعة الموجة تقاس بالمسافة التي تقطعها قمة موجة أو قاعها في وحدة الزمن. وحدة الموجة هي نسبة ارتفاع الموجة الى طولها $steepness = H/L$ وفي المياه العميقة ينذر أن تزيد النسبة عن 1/7.

وتنشأ الأمواج عندما تضرب الرياح سطح البحر، فيتحوّل سطحه الى أمواج دائرية صغيرة يقل طولها عن 1.74سم، وفي هذه الحالة تسمى أمواج (ripples) capillary waves. وتتميز قمم هذه الأمواج بكونها مكورة rounded وقاعها على شكل حرف V، واذا استمرت الرياح في الهبوب بنفس الاتجاه فان سطح البحر يصبح خشنا مما يسمح للرياح بضرب المياه بكفاءة

أعلى، ثم تتحول الأمواج مع استمرار تدفق الرياح الى موجات تسمى gravity waves حيث يزيد طول الموجة عن 1.74 سم. ويصل طول هذه الأمواج 15-35 مرة قدر ارتفاعها. ومع استمرار تدفق الرياح وازدياد قوتها تزداد نسبة ارتفاع الأمواج أكثر من نسبة زيادة طولها. فتضيق قمة الموجة ويصبح قاعها أكثر تدويراً. وتتأثر خصائص الأمواج بسرعة الرياح وديمومتها وعمق المياه واتساعها.

ورغم أن تكون الأمواج ناجم عن حركة دورانية لذرات مياه البحر، إلا أن تحرك الأمواج للأمام يعود الى دفع الرياح لجوانب الموجة المواجهة له، فضلاً عن أن تحرك ذرات المياه في القمة الى الأمام تكون أسرع من حركة تلك الذرات الى الخلف في القاع (شكل 54).



شكل (54) الأمواج، ارتفاعها، طولها وقممها

أنواع الأمواج :

1. الأمواج المحيطية Swell

عندما تخرج الأمواج من منطقة نفوذ الرياح التي تولدت بها، فإن تلك الأمواج تستقل وتصبح سرعتها أكبر من سرعة تلك الرياح التي ولدتها. وفي هذه الحالة تقل حدة الأمواج Steepness وتزداد مدتها ويزداد طولها.

2. أمواج التسوماني : Tsunami

وهي الأكثر تدميراً، وترتبط بحدوث الزلازل والبراكين وقد تنتج من التفجيرات النووية، وتتميز بقوتها وارتفاعها وسرعتها العالية، وتستطيع أن تقطع آلاف الكيلومترات قبل أن تنكسر وتتلأشى، فقد يصل طولها الكيلومتر، وسرعتها 700 كم /الساعة عبر مياه المحيط، وعند وصولها الى مياه الشواطئ الضحلة فإنها ترتفع بصورة مفاجئة، بحيث يصل ارتفاعها أحيانا 50 مترا. وأكثر المحيطات عرضة لمثل هذه الموجات هو المحيط الهاديء.

التغيرات التي قد تطرأ على الموجات في المياه الشاطئية الضحلة :

1. ارتداد الموجة wave - reflection
2. انحراف الموجة wave refraction
3. تشعب الموجة wave defraction
4. تنكسر الموجة wave - breaking
5. تداخل الأمواج wave interference

المد والجزر عبارة عن أمواج طويلة، تتمتع بطاقة عالية جدا، يمكن التنبؤ بحدوثها، ويمكن للقائنين على السواحل مشاهدتها بوضوح من خلال ارتفاع وانخفاض مستوى سطح البحر بالنسبة للوضع العادي. وينتج المد والجزر بصورة منتظمة بفعل قوة الجاذبية لكل من القمر والشمس. اذ من المعروف ان قوة تجاذب جسمين نحو بعضهما البعض يتأثر بكتلتيهما والمسافة الفاصلة بينهما.

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالمعادلة التالية :

$$\text{قوة الجاذبية} = \text{ثابت الجاذبية} \frac{(\text{كتلة 1}) (\text{كتلة 2})}{(\text{المسافة})^2}$$

وبالنسبة للأجسام الكروية فان المسافة تقاس بين مركزي الكتلتين. وفي حقيقة الأمر فان قوى نشوء المد tide-generating forces تتناسب عكسيا مع مكعب المسافة ما بين مركز الأرض وبين مركز الكتلة التي سببت حدوث المد. لذلك فان :

$$\text{قوة نشوء المد} \propto \frac{(\text{كتلة 1}) (\text{كتلة 2})}{(\text{المسافة})^3}$$

لهذا فان قوة تجاذب الأرض مع الشمس تفوق تجاذب الأرض مع القمر بـ 177 مرة. ومع ذلك فان قوة نشوء المد الناجمة عن الشمس لا تساوي سوى 46% من تلك الناجمة عن القمر، رغم أن كتلة الشمس تفوق كتلة القمر بـ 27

مليون مرة. فلو كانت الكتلة هي العامل المؤثر الوحيد لكان المد الناجم عن الشمس يعادل 27 مليون مرة المد الناجم عن القمر. ولكن بسبب البعد السحيق للشمس عن الأرض مقارنة ببعد القمر عنها فإن القمر يكون تأثيره أكبر. كما هو واضح في المعادلة التالية :

$$\text{Tide generating force} \propto \frac{\text{mass sun} - 27 \text{ million times than moon}}{(\text{Distance})^3} \propto \frac{1}{(\text{sun} - 390 \text{ times farther away})^3}$$

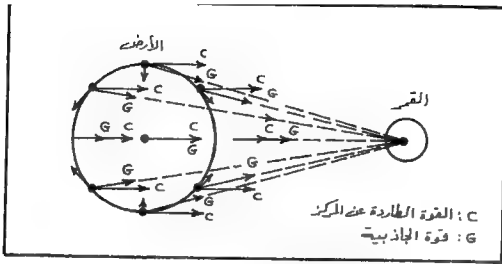
$$\text{وبما أن : } (390)^3 = 59,000,000$$

لذلك فإن قوة نشوء المد الناجم عن الشمس بالنسبة لتلك القوة الناجمة عن القمر =

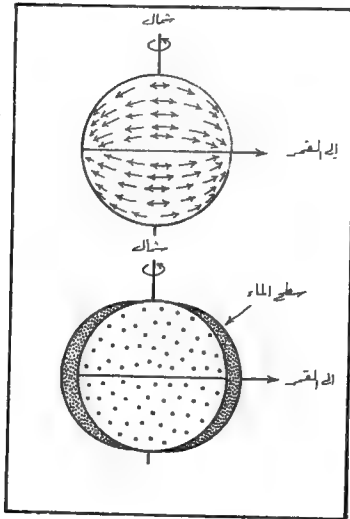
$$\frac{27 \text{ million}}{59 \text{ million}} = 0.46 \text{ or } 46\%$$

فلو افترضنا بأن الأرض مجزأة الى مليون جزء، فإن هذه الأجزاء تتباين في بعدها واتجاهها عن مركز القمر (شكل 55) وهذا بسبب اختلاف محور التجاذب بين تلك الأجزاء ومركز القمر، ونتيجة لهذه الاختلافات فإن قوة نشوء المد الناجمة عن ذلك تدفع مياه المحيطات الى نقطة تدعى Zenith وهي النقطة القريبة من القمر وإلى نقطة nadir المقابلة لها والأبعد عن مركز القمر.

يحدث المد والجزر مرتين في اليوم، بحيث تفصل 12 ساعة بين المدين المتتاليين. ولكن هذا الأمر فرضي بحت، اذ يفترض بأن الأرض كاملة التكور وان أعماق البحار والمحيطات واحدة. لذلك نجد بعض الاختلافات حسب موقع الساحل بالنسبة لخطوط العرض (شكل 56).



شكل (55) العلاقة بين المد والجزر ومركز القمر

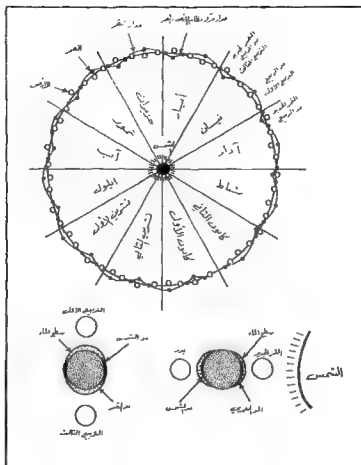


شكل (56) اختلاف المد حسب موقع الساحل بالنسبة لخطوط العرض

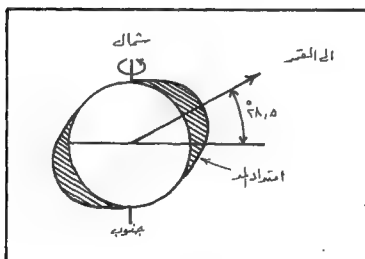
كما أن المد والجزر يتأثران تأثراً كبيراً بحركة الأرض حول الشمس وحركتها حول نفسها، وارتباط حركة القمر بهما. فعندما يقع القمر ما بين الأرض والشمس يحدث مد القمر، وعندما يقع القمر في الجهة المعاكسة للأرض يحدث مد الشمس وكلا المدين نسميهما المد الربيعي spring tide، وفي الحالة الأولى يكون القمر محاقاً، وفي الحالة الثانية يكون القمر بدراً أما إذا كان القمر يشكل زاوية قائمة مع خط الأرض - الشمس فإن القمر يكون في دور الربيع، ويولد ذلك مدّاً ضعيفاً يسمى Neap tide (شكل 57).

ونتيجة لميل محور الأرض 23.5° عن مستوى الفلك، وميل محور القمر خمس درجات فقط عن المستوى الفلك، فإن هذا الاختلاف يخلق تفاوتاً جديداً في مقدار المد والجزر. حيث يبلغ المد أقصاه على خط عرض 28.5° شمال خط الاستواء و 28.5° جنوب خط الاستواء ($28.5 = 5 + 23.5$) (شكل 58).

ولتفاوت بعد الشمس عن الأرض خلال السنة، ولتفاوت بعد القمر أيضاً عن الأرض، أثر واضح على مستوى المد والجزر. فمن المعروف أن الشمس تكون في أوج بعدها عن الأرض في شهر تموز (يوليو) من كل عام Aphelion حيث تكون المسافة بينهما 152.2 مليون كم، ويكون بعدها بشهر كانون أول (يناير) نحو 148.5 كم وهي ما تدعى بالحضيض Perihelion ويكون القمر في أوج بعده عن الأرض Apogee على بعد 375.200 كم، ويكون بعيداً عنها في منطقة الحضيض perigee نحو 405.800 كم. ولهذا فإن المد الربيعي يكون أكبر في فصل الشتاء بنصف الكرة الشمالي منه في فصل الربيع في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. أي أن المد يكون كبيراً عندما يكون القمر عند نقطة الحضيض.



شكل (57) العلاقة بين المد ومنازل القمر



شكل (58) تأثير ميل محور الأرض وميل محور القمر على تفاوت المد والجزر

وبموجب المتغيرات التي ذكرت وفي حالة وجود مياه البحار والمحيطات بنفس الخصائص والأعماق فإن :

1. يحدث مدّين وجزرين في اليوم الواحد.
 2. سواء أكان الأمر مدّاً أو جزراً فإنهما غير متساويين في المقدار بسبب تغير ميلان محاور كل من القمر والشمس.
 3. يجب أن تتوقع اختلافات في قيم المد والجزر حسب الأشهر بسبب اختلافات المسافات بين الشمس والأرض وبين القمر والأرض.
- وبناء عليه يمكننا أن نتنبأ بأكبر مد عندما تكون الشمس في مرحلة الأوج والقمر بنقطة الحضيض أي أن الشمس والقمر والأرض تقع مراكزهما على خط مستقيم onjuondion، وعندما يكون ميل الشمس والقمر declination صفراً. وهذا الأمر يحدث كل 1600 سنة مرة واحدة. ومن المتوقع حدوث هذا الأمر مستقبلاً عام 3300 ميلادي.

أنواع المد :

1. المد والجزر اليومي Diurnal tide ويحدث فيه مد واحد وجزر واحد كل 24 ساعة و 50 دقيقة. وأوضحه يوجد بمخليج المكسيك وسواحل جنوب شرق آسيا.
2. المد والجزر شبه اليومي Simidiurnal tide ويحدث به مدان وجزران خلال اليوم الواحد. أي أن مدة المد tide period 12 ساعة و 25 دقيقة، ويشاهد هذا النوع بوضوح على سواحل الولايات المتحدة.

3. المد والجزر المختلط Mixed tide وهو الأكثر تعقيداً، بحيث لا يظهر المدان والجزران بنفس المقدار وبنفس التتابع ولكن بشكل عام يتكرر المد والجزر المختلط كل 12 ساعة و 25 دقيقة. ويظهر هذا النوع بوضوح على سواحل المحيط الهادئ للولايات المتحدة.

التيارات المدية :

تحدث هذه التيارات نتيجة حدوث المد والجزر. وتتأثر قوتها بالفارق المدي وبسعة المسطحات المائية. وتدعى مثل هذه التيارات عند توجهها الى السواحل بالتيار الدوار مع اتجاه عقارب الساعة rotary current. والتيارات الراجعة reversing current عندما تعود من السواحل. وتصل سرعتها أحيانا في المياه المفتوحة نحو 1 كم/ساعة، أما في الخلجان الضيقة فقد تصل سرعتها الى 20 كم/الساعة، وتصل سرعتها وبحالات استثنائية الى 66 كم/ساعة.

التيارات البحرية : currents

عبارة عن حركة المياه السطحية وشبه السطحية في اتجاهات محددة ثابتة وفق قوى مختلفة مثل الرياح السائدة وتباين كثافة المياه، وقوى الجاذبية، واختلاف سرعة دوران الأرض حول نفسها.

فالرياح التجارية تساعد في تشكيل التيارات المحيطية الاستوائية، ونتيجة للقوة الكارولية فان هذه التيارات المتحركة نحو الغرب تتجه صوب الشمال على يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي، وتتجه جنوباً الى يسار اتجاهها بنصف الكرة الجنوبي. وتحمل هذه التيارات الاستوائية معها مياه دافئة لذلك تسمى التيارات الدافئة Warm currents. وبعد أن تخرج هذه التيارات من النطاق

الاستوائي تتولى الرياح العكسية دفعها باتجاه الشرق، ثم تبرد هذه المياه فتعود إلى المناطق الاستوائية على شكل تيارات باردة Cold currents (شكل 59).

تتأثر التيارات البحرية بمبدأين الأول مبدأ تأثير القوى الكارولية والثانية مبدأ اسكمان Eckman spral الذي يعالج مدى تفاوت تأثير طبقات المياه في المياه العميقة بالقوة الكارولية بحيث تختلف سرعاتها وتختلف اتجاهاتها أيضاً. إذ أن المياه على عمق معين تسير باتجاه معاكس لاتجاه المياه السطحية أو على زاوية 220° من اتجاه الرياح السطحية. ويعتمد العمق الذي تبدأ فيه المياه بالسير باتجاه عكسي على خط العرض، فمثلاً يصل العمق في ساحل كلفورنيا إلى 100 متر وفي المنطقة الاستوائية قد يحصل الأمر على أعماق مختلفة بسبب انعدام القوة الكارولية. وبشكل عام فإن حركة التيارات المائية السطحية تسير باتجاه يخلق زاوية مقدارها 90° مع اتجاه الرياح التي سببت هذه التيارات.

وبين الشكل (59) توزع التيارات البحرية على مختلف المحيطات، حيث يتميز كل محيط منها بدورتين منفصلتين أحدهما شمال خط الاستواء ولانيتها جنوب خط الاستواء. وتكون التيارات المخاضية للسواحل القريبة للقارات باردة والتيارات المخاضية للسواحل الشرقية للقارات دافئة. وتتأثر حركة هذه التيارات بشكل السواحل وامتدادها ومدى تواجد الجزر الساحلية ونمط انتشارها.

الفصل السادس

تقييم الموارد المائية في العالم

تعتبر المنظمات الدولية العاملة في مجال المياه وبخاصة الوكالات المتخصصة التابعة للأمم المتحدة أن المياه وليست الطاقة هي مشكلة القرن الواحد والعشرين.

وقد أيد هذا الرأي المؤتمر الدولي حول الماء والبيئة المنعقد في دبلن عام 1992، حيث اصدر المؤتمر بياناً حول تطور الوضع المائي العالمي وقد اشار المؤتمر في بيانه الختامي الى أن "صحة الانسان ورفاهه وأمنه الغذائي والتنمية الصناعية والنظم الايكولوجية، معرضة جميعها للخطر ما لم تتم ادارة الموارد المائية والأراضي في القرن الحالي وما بعده بفعالية تزيد على ما كانت عليه في الماضي".

كما أكد مؤتمر الأرض المنعقد في ريودي جانيرو عام 1994 نتائج مؤتمر دبلن. وقد تضمن البيان الختامي لمؤتمر ريو 1994 جدول أعمال القرن الواحد والعشرين واشتمل في ميدان المياه استراتيجية دولية لحماية نوعية موارد المياه العذبة وامداداتها. كما أكد المؤتمر على أن المياه هي من أهم العناصر التي يجب توفرها وصيانتها لتحقيق أهداف الاستراتيجية المائية الدولية وفي مقدمتها حماية البيئة وتحقيق التنمية المتواصلة.

ينجم عن زيادة الطلب على الماء لمواكبة النمو السكاني مشكلتين

أساسيتين الاولى ناتجة عن زيادة الضغط على الموارد السطحية والجوفية لتوفير مصادر جديدة وكميات اضافية من الامدادات المائية، والثانية تتمثل في ارتفاع حجم مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي وطرح هذه المياه في الأوساط الطبيعية (التلوث).

وقد بينت الدراسات التي أجريت على مستوى العالم Global Water Assessment أن نصيب الفرد قد انخفض من 12900م³ عام 1970 الى حوالي 7600م³ عام 1996 اي بمحدود 5300م³ خلال ربع قرن أو حوالي 41٪.

ان المياه العذبة الصالحة للشرب هي الحياة نفسها وهذه المياه لا تأتي او تتكون بسهولة، فالأمطار تهطل في الفترات الرطبة وبخاصة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة، وبعد ذلك تبقى هذه الأقاليم فترة طويلة دون هطول.

يتسارع النمو السكاني في العالم. وتتوسع الزراعة والتصنيع ويرتفع مستوى المعيشة وهذا يتطلب دائما مياه أكثر باستمرار، ولكن الجفاف والتلوث وسوء الإدارة تحدّد امكانية زيادة المياه.

ان كميات المياه الموجودة حاليا في كوكبنا تساوي كميات المياه منذ ان ظهر الإنسان على وجه الأرض. ولكن بدأنا الآن نشعر بشح المياه الصالحة للشرب والاستعمالات المختلفة الأخرى في معظم انحاء العالم. ولا يمكننا زيادة كمية الماء في العالم، لكن بالإمكان زيادة كمية المياه الصالحة للشرب والاستعمالات الأخرى. فالإنسان هو المسؤول عن شح المياه وتلوثها لذلك فمن الضروري عدم تبديرها، وقد قال رسول الله صلى الله عليه وسلم " لا تسرف في الماء وإن كنت على نهر جار".

إذا أضفنا استهلاك المياه في الصناعة والزراعة فإن نصيب الفرد يصل في الولايات المتحدة الأمريكية مثلاً إلى أكثر من 10 آلاف م³ / السنة، تنخفض هذه الكمية إلى حوالي 8 آلاف م³ / السنة في معظم الدول الصناعية. بينما تنخفض هذه الحصة إلى أقل من 250 م³ / السنة في معظم الدول الفقيرة.

جدول رقم (11) المتطلبات المائية لبعض الصناعات

الصناعة / طن واحد	متر مكعب
النفط	10
الحضروات المعلبة	0.04
الورق	119
النسيج الصوفي	600
الحديد الصلب	150
الأسمدة والنيروجينية	600
تعدين الكبريت	11
المطاط الصناعي	2100
الألمنيوم	200
الخزير الصناعي	2660
خيوط الغاير	5600
نسيج القطني	260
السكر	200-400

مشكلات الموارد المائية :

ادت الزيادة الهائلة في عدد السكان والتقدم الصناعي والتقني والتوسع الزراعي والتوسع العمراني في القرن العشرين، اضافة الى عدم اتباع الطرق المناسبة في معالجة مصادر التلوث وانعدام التخطيط السليم، إلى تلوث الموارد المائية واستنزافها. ويمكن اعتبار مشكلتي التلوث واستنزاف الموارد المائية هي المشكلات الرئيسية سواء في العالم الصناعي المتقدم او في الدول النامية.

ويعرف التلوث بأنه وجود مادة او مواد غريبة في المياه، والملوثات هي المواد والميكروبات أو الطاقة التي تلحق الأذى بالإنسان وتسبب له الأمراض. والمياه الملوثة تضر بصحة البيئة وتؤدي إلى حدوث تغير في درجة حرارة الماء وتغير رائحته وطعمه ولونه. ويعتبر التلوث المائي خطير جدا خاصة وأنه لا يعرف الحدود الإقليمية او السياسية وإنما ينقل من منطقة لأخرى. فقد اثر تلوث مياه نهر الفرات في تركيا على نوعية المياه في كل من سوريا والعراق. ويؤثر تلوث نهر الراين في فرنسا على كل من ألمانيا وهولندا، كذلك ادى شح مياه نهر الكولورادو في الغرب الأمريكي على المكسيك.

مصادر تلوث المياه السطحية :

تعتبر الاستعمالات المختلفة للمياه هي المسؤولة عن مصادر تلوث المياه السطحية. ومن اهم هذه المصادر:

1- المياه العادمة المنزلية :

وهي المياه الناتجة عن استعمالات المنازل، حيث تكون المياه ذات لون

مائل إلى الاصفرار، وتحتوي هذه المياه على كميات هائلة من البكتيريا والفطريات والفيروسات. ويمكن القول بأن 80٪ من المياه المستهلكة للاستعمال المنزلي تتحول إلى مياه عادمة.

2- المياه العادمة الصناعية

تستعمل المياه في الصناعة كمادة خام أو في الإنتاج أو لأغراض التبريد، وبعد استعمال المياه تخرج على شكل مياه عادمة صناعية وتحتوي هذه المياه على مواد كيميائية ضارة وسامة ومواد عالقة ومواد مترسبة ومواد ذائبة وحوامض سامة بالإضافة إلى ارتفاع حرارتها.

3- المياه العادمة الزراعية :

وهي المياه الناتجة عن النشاطات الزراعية المختلفة وبخاصة عند استعمال طرق الزراعة الكثيفة وتربية الحيوانات . وتحتوي المياه العادمة الزراعية على مواد عضوية سهلة التحليل ولا تشكل خطرا على البيئة، لكن هناك مياه عادمة زراعية ناتجة عن تصنيع علف الحيوانات والتي تحتوي على مواد عضوية مثل حامض الخليك ومركبات النيتروجين المختلفة. كما أن استعمال المبيدات المختلفة يؤدي إلى نقل هذه المواد عن طريق مياه الري إلى الماء السطحي المجاور للحقول المزروعة وتلوثها.

4- التلوث بالنفط :

يزداد تلوث مياه البحار والمحيطات بازدياد ناقلات النفط عددا وحجما. ويتم تلوث مياه البحار والمحيطات والأنهار بسبب غرق ناقلات النفط

كما حدث عندما غرقت سفينة كانيون في بحر المانش عام 1967 وتسرب منها 117 ألف طن من النفط الخام إلى البحر. كما تقوم كثير من السفن بغسل صهاريجها وتغريقها في البحر. كما تحدث عملية تلوث مياه البحار عند استغلال آبار النفط الموجودة في البحار، مثال ذلك عندما تسرب النفط من حقل نوروز الأيراني عام 1983 ولوث مياه الخليج العربي، بالإضافة إلى تلوث مياه الخليج العربي مرة أخرى في حرب الخليج عام 1991

وبعد النفط ومشتقاته مصادر تلوث المياه التي تتميز بانتشارها السريع على سطح الماء، وتكوين طبقة رقيقة يراوح سمكها بين أجزاء الميكرون وحتى 2سم. وتقوم هذه الطبقة بعزل المياه عن الهواء وبذلك تمنع التبادل الغازي بينهما، هذا ويغطي طن واحد من النفط دائرة يصل قطرها إلى 12 كم.

5- الأمطار الحمضية

تتكون الأمطار الحمضية في الأقاليم الصناعية حيث يحتوي هواء تلك المناطق على الغبار وأكاسيد النيتروجين والكبريت والتي تهطل على شكل أمطار حامضية خاصة في الدول الأوروبية وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، وبعد سقوط الأمطار ووصولها لسطح الأرض فإن الملوثات تنتقل إلى المياه السطحية.

اشكال التلوث المائي :

1- التلوث الفيزيائي :

يحدث هذا النوع من التلوث نتيجة عمليات الانجراف المائي وبخاصة في الأراضي المحروثة والمراعى من الغطاء النباتي وفي مناطق المناجم والصناعات التعدينية.

2- التلوث الكيميائي:

ويحدث نتيجة وجود مواد كيميائية سامة مذابة في الماء مثل املاح الكبريتات والنيترات ومركبات الفوسفور والرصاص والزنك وغيرها.

3- التلوث الاشعاعي:

ويحدث هذا النوع من التلوث للمياه بسبب الاشعاعات النووية التي تحدث بسبب التجارب النووية او انفجار بعض المفاعلات النووية كما حصل في الولايات المتحدة وأوكرانيا .

4- التلوث الحراري:

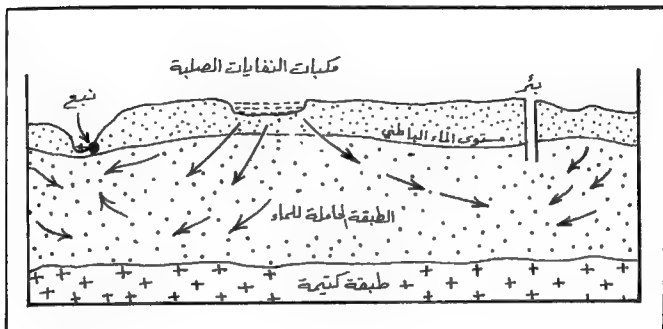
يحدث هذا التلوث بسبب القاء المياه المستخدمة في تبريد المصانع داخل البحار او مجاري الأنهار، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء وبالتالي طرد الأكسجين وعدم صلاحيته للحياة النباتية والحيوانية.

تلوث الموارد المائية الجوفية :

تعرض المياه الجوفية في مناطق واسعة من العالم إلى التلوث، مما يؤدي إلى عدم صلاحيتها. في الوقت الذي تعتمد عليها مناطق كثيرة من العالم .

اسباب تلوث المياه الجوفية:

- 1- صرف المياه العادمة المنزلية والصناعية والزراعية في الأحواض السطحية المغذية للماء الجوفي والتي ترشح إلى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.
- 2- طرح مختلف انواع الفضلات الصلبة والتي تتعرض للإذابة عند سقوط الأمطار، ثم تبدأ بالتسرب إلى الماء الجوفي (شكل 60) .



شكل (60) تلوث الماء الجوفي

- 3- تسرب النفط عند القيام باستخراجه إلى المياه الجوفية.
- 4- الزراعة الكثيفة، واستخدام الأسمدة والمخصبات الكيماوية والمبيدات، حيث ينتج عن ذلك اذابة هذه المواد وتسربها إلى الطبقات الحاملة للماء الجوفي.

المحافظة على الموارد المائية :

عملا بقوله تعالى (وجعلنا من الماء كل شيء حي). فإنه من الضروري المحافظة على الموارد المائية السطحية منها والباطنية والحد من تلوثها والعمل على ترشيد استهلاكها :

ومن أجل الحد من تلوث الموارد المائية يجب القيام بالخطوات الإيجابية

التالية:

- 1- معالجة النفايات الصناعية والعضوية الناتجة عن مختلف الأنشطة البشرية والتخلص منها بالطرق المأمونة.
- 2- مراقبة حركة النفط وناقلات النفط والهيدروكربونات في مياه البحار والمحيطات والأنهار والبحيرات ومراقبة المعادن وبخاصة الزئبق في الكائنات البحرية، ويتم ذلك من خلال إيجاد أجهزة تنسيق وتعاون دولي.
- 3- حصر النفط المتسرب من الناقلات وفرزه بالوسائل الميكانيكية (حواجز الزئبق) ثم تضيق رقعة الحواجز لتجميع البقع الزيتية في رقعة واحدة لتكون سماكة طبقة الزيت بها كبيرة، بحيث يمكن كشط الزيت منها أو سحبها من على سطح الماء بواسطة أجهزة خاصة، وهي أكثر الطرق أمانا وأقلها خطرا على البيئة البحرية.
- 4- التجميد والتبريد، بحيث يتم تبريد وتجميع الزيت الطافي على سطح الماء بواسطة ثاني أكسيد الكربون ثم تجميع الزيت المتجمد وسحبه ميكانيكيا.

- 5- مراقبة المصانع المنتجة للمواد السامة. من خلال قوانين تجبرها على تنقية مياهها العادمة .
- 6- اقامة محطات تنقية لكل التجمعات السكانية للتخلص من المياه العادمة المنزلية ومعالجتها.
- 7- معالجة مكاب النفايات الصلبة في المدن بطرق اكثر أمنا .
- 8- التقليل من استخدام المبيدات الكيماوية والتركيز على الضبط البيولوجي والفسولوجي والوراثي للحشرات الضارة.

الحد من استنزاف الموارد المائية :

تعرض الموارد المائية إلى استنزاف شديد ومن أجل الحد من الاستنزاف لا بد من تطبيق الإجراءات التالية :

1- ادارة الموارد المائية:

فمن خلال التخطيط المركزي يمكن للوصول إلى الإدارة المتكاملة للموارد المائية . وهي عملية معقدة تشمل على كافة المراحل المتكاملة لأعمال التخطيط والتنفيذ والتشغيل والصيانة للموارد المائية. وذلك من أجل حدوث توازن بين الموارد المائية المتاحة والطلب عليها.

ان تطبيق المفهوم التكاملي للموارد المائية يتم على عدة مستويات هي:

أ- الإدارة المتكاملة للموارد المائية السطحية الدائمة الجريان والموسمية.

ب- الإدارة المتكاملة للمياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة .

ج- الإدارة المتكاملة لامدادات المياه والطلب عليها .

- 2- حماية الموارد المائية الجوفية من الاستنزاف عن طريق ترشيد الاستهلاك وذلك للوصول إلى التوازن بين كميات المياه المتوفرة في الخزان الباطني وكمية المياه المسحوبة منه، وكمية المياه الخوضية. والأمثلة على الخلل في التوازن كثيرة في مناطق مختلفة من العالم، بسبب زيادة كميات المياه المسحوبة وعدم قدرة مياه الأمطار على تعويض هذا النقص في مخزون المياه الجوفية.
- 3- إعادة تدوير واستخدام المياه بعد معالجتها فيزيائياً وكيميائياً وذلك للتخلص من المواد السامة سواء كانت عالقة أو مذابة في المياه، وذلك حتى يتسنى إعادة استخدامها.
- 4- البحث عن مصادر مياه جديدة باستخدام الطرق العلمية الحديثة بواسطة الأقمار الصناعية بهدف تقدير كميات الموارد المائية في مختلف المناطق وبخاصة الأقاليم الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة.
- 5- ان الضوابط الإقتصادية وبخاصة السياسات السعرية يمكن ان تلعب دوراً أساسياً في مجال ترشيد استخدامات المياه.
- 6- سن القوانين والتشريعات الخاصة بحماية نوعية المياه.

تقييم الموارد المائية في الوطن العربي :

نظراً لأن تنظيم استثمار الموارد المائية وإدارتها في الوطن العربي يتم تحت ظروف مناخية متطرفة، فقد كان للتأثيرات الطبيعية على موارده المائية المحدودة انعكاسات سلبية تفوق حدة التأثيرات الناتجة عن النشاطات البشرية.

بينما كانت النشاطات البشرية هي العامل الأساسي لتدهور نوعية المياه في الدول الصناعية والتي حافظت على مخزونها الجوفي.

وقد انخفض نصيب الفرد من الموارد المائية المتجددة المتوفرة من الدورة الهيدرولوجية من حوالي 2200 الى 1100 م³، أي بنسبة 50٪. وسيدخل الوطن العربي عام 2000 في مشكلة العجز المائي، وبما أن الظروف المناخية في الوطن العربي تميل نحو مزيد من الجفاف أو التطرف، وخاصة بالنسبة لنظام المطر وشدة تكرار ظواهر الجفاف والفيضانات (السيول) فإنه بات من الضروري تحديد أبعاد هذه المشكلة ووضع الحلول المناسبة لها، علماً بأن الحلول المؤقتة لسد النقص في امدادات المياه في الوطن العربي يعتمد على استنزاف احتياطي المياه الجوفية. ولكن هذه الحلول لا يمكن الاستمرار بها في القرن الحادي والعشرين، بل ان هناك حاجة ماسة لوضع استراتيجية بعيدة المدى تستند الى حقائق وثوابت صحيحة نتيجة للأثار السلبية والايجابية التي طبقتها الدول العربية في النصف الثاني من القرن العشرين.

واذا ما أردنا تقييم الوضع المائي العربي نجد أن هناك نقصاً أو قصوراً بحالة المعرفة عن عدد من عناصر الدورة الهيدرولوجية، وبخاصة التبخر والتسرب أو التغذية المائية، ولسد هذه الفجرات لابد من اجراء تجارب وبحوث معمقة. وغالباً ما نجد عدم كفاية المعطيات والمعلومات في مجال نوعية المياه وانتقال الملوثات وتدهور نوعية المياه الجوفية.

ويعرض طريقة دراسة وتنمية الموارد المائية غير المتجددة والتي تنتشر في أحواض تصل مساحتها الى أكثر من 50٪ من مساحة الوطن العربي عدة

معوقات منها :

1. معوقات اقتصادية : تتعلق بالكلفة العالية لأعمال المسح والحفر في مناطق صحراوية شاسعة.

2. معوقات طبيعية : منها ما يتعلق بطبيعة هذا المورد او انعدام مصادر التغذية المائية لها.

ان استنزاف الموارد المائية في الوطن العربي واستهلاك المخزون المائي وارتفاع تكاليف انتاج المياه نتيجة الهبوط المستمر لمستوى الماء بالاضافة الى ان امتداد الخزانات المائية يكون عبر المناطق الحدودية، كل ذلك يستلزم التعاون بين الدول العربية في عملية دراستها وتنظيم استثمارها.

تواجد الموارد المائية في الوطن العربي :

تصنف الموارد المائية الى موارد مائية سطحية وموارد مائية جوفية، وتسمى معظم الدول العربية الى تقييم مواردها المائية التقليدية على النحو التالي:

أ. الموارد المائية السطحية وتضم :

1. موارد الأنهار الدائمة الجريان.

2. موارد الأودية الموسمية (المؤقتة) الجريان.

ب. الموارد المائية الجوفية وتضم :

1. الموارد المائية الجوفية المتجددة.

2. الموارد المائية الجوفية غير المتجددة.

يتوقف عمر المياه بصورة عامة على موقعها بالنسبة للنظام المائي وعلى أبعاد هذا النظام. ففي سورية توجد مياه جوفية أحفورية تراوح أعمارها بين 4000 - 6000 سنة، وفي منطقة الخرطوم في السودان في الجزء الأعلى من النظام المائي للحوض النوبي تم تحديد مياه جوفية في الطبقات العليا تراوح أعمارها بين 1500 - 1600 سنة، أما أعمار المياه في الآبار العميقة فتصل إلى 18000 سنة. وفي مصر في الجزء الأوسط والأدنى من هذا النظام الإقليمي تراوح أعمار المياه بين 20000 - 40000 سنة.

وتتواجد المياه الجوفية غير المتجددة في نوعين من الطبقات الصخرية :

1. مجموعة الصخور الرملية القارية العائدة للزمن الجيولوجي الأول والثاني.
2. مجموعة الصخور الكربونائية العائدة للزمن الجيولوجي الثالث.

أما الموارد المائية الجوفية المتجددة فتتواجد في مجموعات الصخور التالية:

1. مجموعة الصخور اللحيقية العائدة للزمن الجيولوجي الرابع.
2. مجموعة الصخور الفحمائية - الكارستية العائدة للزمن الثاني والثالث.
3. مجموعة الصخور البركانية العائدة للزمن الثالث والرابع.

رغم أن الموارد المائية السطحية، هي الأكثر أهمية من الناحية الكمية حيث تشكل حوالي 88٪ من مجمل الموارد المتجددة، إلا أنها تنتشر في جزء محدود من الوطن العربي، ويمكن تقسيم هذه الموارد إلى أربعة فئات رئيسية هي:

1. الأنهار الكبرى وتشمل النيل ودجلة والفرات.

2. الأنهار المتوسطة الحجم، وتشمل نهر الأردن والعاصي والسنگال وشيلي وجوبا.

3. الأنهار الصغيرة الحجم وتنتشر في سواحل سوريا ولبنان والجزائر والمغرب.

4. الأودية الموسمية الجريان وهي واسعة الانتشار في كل الدول العربية.

وبشكل عام فقد تم استثمار الطبقات المائية على نطاق واسع في الدول العربية خلال الربع الأخير للقرن العشرين. وقد شهدت المناطق الآهلة بالسكان استثماراً مكثفاً لمجم عنه هيوطاً ملحوظاً في المناسيب واستنزاف للمخزون وتدهور للنوعية وبخاصة في المناطق الحضرية والساحلية.

اما موارد الأنهار الدائمة الجريان فقد تم تنميتها واستغلالها بواسطة سدود تخزينية كبيرة أو متوسطة أو صغيرة الحجم. كما أنشئ على مجاري الأودية سدود تحويلية أو تخزينية لأغراض الري والشرب أو لتغذية المياه الجوفية، وما زال جزء هام من الموارد المائية السطحية بشكل عام وموارد مياه الأودية بشكل خاص يفقد بالتبخر، وثمة مجال واسع لتنمية هذه الموارد.

حجم الموارد المائية في الوطن العربي :

ساهم المركز العربي للدراسات المائية خلال الثمانينات من القرن العشرين في بلورة صورة واضحة عن الوضع المائي العربي.

لقد بينت الدراسات ان حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي هو حوالي 340 مليار م³ جدول (13) الا ان هناك دراسات أخرى بينت ان حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي هو حوالي 300 مليار م³، ويعود ذلك الى :

1. عدم كفاية سجلات الأرصاد الجوية ووجود ثغرات في السجلات الموجودة.

جدول (13) الموارد المائية المتجددة المتاحة للاستثمار في الوطن العربي (كم³)

الاقليم	السطحية	الجوفية	المجموع
المشرق العربي	112	12	124
الجزيرة العربية	8	05	13
الاقليم الأوسط	131	09	140
المغرب العربي	44		

2. عدم كفاية المعطيات والبيانات عن بعض عناصر الدورة الهيدرولوجية في الأحواض المائية وخاصة التبخر والتسرب والتغذية المائية للخزانات الجوفية.

3. عدم التوصل الى اتفاقيات في بعض أحواض الأنهار المشتركة.

4. عدم دقة التقديرات لمياه الأنهار الدائمة الجريان والأودية المؤقتة الجريان.

تتوقف النسبة من حجم الموارد المائية المتجددة القابلة للاستثمار في الوطن العربي على عدد من العوامل أهمها العوامل الطبيعية (الهيدرولوجية) والاقتصادية والتقنية، علما بأن الجدوى الاقتصادية لمشروعات تنمية الموارد المائية تختلف حسب تغير الأوضاع الاقتصادية وتزايد ندرة المياه مع مرور

الوقت، ففي ظل الظروف الراهنة، تتراوح نسبة الموارد المائية المتوفرة القابلة للاستثمار ما بين 50% و 90% (كما في الجدول 14). إلا أنها قد ترتفع الى نسب عالية في أحواض الأنهار الكبرى كالنيل ودجلة والفرات، وبالتالي يمكن أن تصل في المتوسط الى 85% على مستوى الوطن العربي، لذلك فإن الموارد المائية القابلة للاستثمار تكون بمحدود 250 مليار م³ فقط.

جدول (14) نسبة الموارد المائية القابلة للاستثمار في بعض الدول العربية

النسبة المتوية	الموارد المائية القابلة للاستثمار			القطر
	الموارد المتجددة	الموارد الجوفية	الموارد السطحية	
53%	1.45	1.75	5.7	الجزائر
70%	21	5	16	المغرب
91%	38	1.7	2.1	تونس

أما تقدير حجم الموارد المائية القابلة للاستثمار في الأحواض المائية الجوفية فهو من الأمور الأكثر تعقيداً نظراً لعدم وجود أسس علمية مقبولة عالمياً، فالمنهجيات المعروفة في هذا المجال تحدد حجم الأجسام المائية من خلال تقدير الحجم الفعال للمسامية *Effective pore volume* والتي تتراوح بالنسبة للصخور الرملية - وهي الأوسع انتشاراً في الوطن العربي ما بين 5-10%.

استناداً الى هذا المفهوم فقد تم تقدير المحتوى المائي لأكبر مخزون للأحواض المائية غير المتجددة في الوطن العربي وهو الخوض النوبي بحوالي 150000 كم³.

ومما يدعو للقلق هو تناقص حصة الفرد في الوطن العربي من 2200 م³ عام 1970 الى 1100 م³ عام 1995، أي أن هناك نقصاً حاداً يصل الى 50٪. أما تطور نصيب الفرد في الوطن العربي فقد يصل عام 2000 الى 950 م³ وإلى حوالي 500 م³ عام 2025 كما في الجدول (15) :

جدول (15): نصيب الفرد المتوقع من الموارد المائية المتاحة / م³ / سنة خلال

الفترة (2000 - 2030م)

السنة	2000	2010	2020	2030
الاقليم				
المشرق العربي	1924	1380	1000	720
الجزيرة العربية	295	208	146	103
الاقليم الأوسط	887	664	497	372
المغرب العربي	758	577	439	333
الوطن العربي	951	693	520	384

الطلب على الماء في الوطن العربي :

هناك تمييز واضح بين الاحتياجات المائية والطلب على الماء، فالاحتياجات المائية ترتبط بالنمو السكاني ومتطلباته الأساسية من المياه للشرب ونتاج الغذاء وتنمية القطاعات التنموية وخاصة القطاع الصناعي (الجدول 16). بينما يتم احتساب الطلب على الماء على التفاعل الاقتصادي بين العرض والطلب أي أن اقتصاد السوق يلعب دوراً هاماً في تقدير الطلب وتخصيص المياه.

جدول (16) الطلب على الماء لمختلف الاستعمالات لأقاليم الوطن العربي خلال

الفرة (2000 - 2030 م) مليار م³

الاقليم	السنة / الاحتياجات	2000	2010	2020	2030
المشرق العربي	شرب	1716	4495	6273	8098
	صناعة	1212	2369	3854	5690
	زراعة	71812	75219	77996	77651
	اجمالي	74770	82083	88123	91439
الجزيرة العربية	شرب	2181	3203	4238	5433
	صناعة	783	1529	2341	3587
	زراعة	24919	26473	27716	28587
	اجمالي	27883	31205	34295	37607
الاقليم الأوسط	شرب	4019	6162	8362	11056
	صناعة	1088	2308	3620	5985
	زراعة	133808	141077	147067	151623
	اجمالي	138915	149547	159049	168664
المغرب العربي	شرب	4217	6346	8788	11432
	صناعة	1449	2875	4541	7073
	زراعة	89689	94598	97892	101669
	اجمالي	95355	103819	111221	120174
الوطن العربي	شرب	12133	20207	27661	36019
	صناعة	4532	9081	14356	22335
	زراعة	320258	337367	350671	359530
	اجمالي	336923	366654	392688	417884

لقد استعملت في معظم الأقطار العربية معايير مثل "الاحتياجات المائية" و"استخدامات المياه" و "استعمالات المياه" و "الطلب على الماء" وكلها تدل على مفهوم واحد. وقد تم في عدد من الأقطار العربية تطبيق المبادئ الاقتصادية من خلال "السياسات السعرية" كوسيلة لرفع كفاءة الاستعمالات المائية المختلفة وللحد من الهدر وبالتالي إدارة الطلب والاقتصاد في استعمالات المياه.

ويلاحظ بأن الدول التي تمتلك موارد مائية متجددة تزيد على 1000م³ للفرد في السنة تقلد احتياجاتها وفق الأسس التالية :

1. توفير كامل متطلبات الشرب.

2. تنمية القطاع الصناعي.

3. تحقيق الأمن الغذائي.

وبسبب التزايد السكاني يتناقص نصيب الفرد من الموارد المائية وسوف تتناقص نسبة الاكتفاء الذاتي للغذاء تدريجياً، إلا إذا تم التوصل الى توازن في معادلة الموارد والطلب باستخدام وسائل مختلفة مثل ترشيد الطلب Demand Management وتحسين الانتاج وزيادة الانتاج الزراعي وتناقص معدل النمو السكاني.

وقد أدت رغبة الدول العربية لتحقيق أمنها الغذائي الى ارتفاع حاد في الطلب على الماء واستنزاف جزء هام من مخزون المياه الجوفية.

وسوف تستمر تنمية الموارد المائية ما دامت الظروف الاقتصادية والطبيعية تسمح بذلك، وهناك امكانية لزيادة حجم امدادات المياه من 180

مليار م³ الى حوالي 250 مليار م³ حسب التقديرات الحالية الموضحة في الجدول (17) :

(جدول 17) تنمية الموارد المائية في الوطن العربي / مليار م³

الموارد	السنة	2000	2010	2020	2030
الموارد المائية المتجددة	190	215	235	250	
الموارد المائية غير التقليدية	13	15	17	19	
امدادات المياه المتاحة للتنمية	203	230	252	268	

ادارة الموارد المائية في الوطن العربي : Management of Water Resources

لقد تطور مفهوم ادارة الموارد المائية خلال العقود الأخيرة من القرن العشرين من خلال الخبرة المكتسبة على مختلف المستويات الوطنية والاقليمية والدولية.

وقد طرح خبراء الأمم المتحدة في هذا المجال مفهوم الادارة المتكاملة للموارد المائية- International Water Resources Management منذ عام 1977 وقد ارتكز هذا المفهوم على الادارة المركزة. وادارة الموارد المائية هي عملية معقدة تشتمل على كافة المراحل المتكاملة لأعمال التخطيط والتنفيذ والتشغيل والصيانة لتلك الموارد مع الأخذ بعين الاعتبار كافة المعوقات

والعوامل المؤثرة والفاعلة في ذلك لتقليل العوائد السلبية وزيادة العوائد الاقتصادية للمجتمع، ومن أجل أحداث توازن بين الموارد المائية المتاحة والطلب عليها.

الأساليب المتبعة في الإدارة المتكاملة للموارد المائية :

تعتبر كل من العدالة في التوزيع والاستدامة وحماية البيئة المبادئ الأساسية لتحقيق أهداف السياسات المائية. وحتى تتم إدارة الموارد المائية بشكل متكامل يجب استخدام أساليب مناسبة وفعالة ومن هذه الأساليب :

– النهج التكاملي Integrated Approach

– النهج الشمولي Wholistic Approach

– النهج التشاركي Participatory Approach

– النهج الاقتصادي Economical Approach

ويتقارب كل من النهج التكاملي والنهج الشمولي الى حد كبير، ويعتمد هذان المنهجان على أن محدودية الموارد المائية وحساسية الأوساط المائية تستلزم وضع السياسات المائية القطاعية في إطار السياسة الوطنية للتنمية الاجتماعية والاقتصادية الشاملة.

ويساهم هذان المنهجان في حل مشاكل مائية متعددة، إلا أن تخصيص المياه وإدارتها في معظم القطاعات كالشرب والصناعة والزراعة يتم بصورة شبه مستقلة مما يؤدي الى تدني كفاءة استثمار الموارد المائية المتاحة وتدهور الوضع المائي وخاصة في الأحواض المائية الجوفية.

أما المنهج التشاركي فيقتضي التفاعل بين واضعي السياسات المائية والجمهور، وهذا يعني اتخاذ القرارات بالتشاور مع الجمهور وإشراكه في تخطيط وتنفيذ المشروعات المائية. ولكي يتم التعاون والتكامل والتنسيق بين الجهات الرسمية والشعبية على مختلف المستويات، ويتعين على السكان تنظيم أنفسهم في جمعيات أو اتحادات تعبر عن مصالحهم ورغباتهم. ويلعب كل من التثقيف والإرشاد والتوعية دوراً فاعلاً لتحقيق التكامل بين الجمهور وواضعي السياسات المائية.

وتعتبر المبادئ الاقتصادية من الأدوات الفعالة التي يمكن استخدامها لحل المشكلات المائية، فالمبادئ الاقتصادية تسهم في رفع كفاءة استعمالات المياه. وهناك انعكاسات هامة للنشاطات المختلفة في قطاع المياه على الاقتصاد الوطني، كما أن للسياسات الاقتصادية انعكاسات هامة على مجمل الطلب على الماء، فاستراتيجية التنمية والسياسات المائية والنقدية والتجارية تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على طلب الماء واستعمالاته المختلفة.

كما يجب أن تساهم الإدارة المتكاملة للموارد المائية في حل المشكلات المائية الرئيسية وأهمها:

1. تخفيف الآثار السلبية لاستثمار الموارد المائية.
2. إيجاد الحلول المناسبة لمشكلات التنافس والنزاع على استخدامات المياه.

لقد أصبح تطبيق المنهج التكاملي لإدارة الموارد المائية ضرورياً في الوطن العربي وذلك على عدة مستويات :

1. الإدارة المتكاملة للموارد المائية السطحية الدائمة والموسمية الجريان.

2. الادارة المتكاملة للمياه الجوفية المتجددة وغير المتجددة.

3. الادارة المتكاملة للموارد المائية السطحية والجوفية معاً.

4. الادارة المتكاملة للمياه التقليدية وغير التقليدية.

5. الادارة المتكاملة لامدادات المياه والطلب عليها.

ومن أجل تحقيق الادارة المتكاملة للموارد المائية يتعين على الأقطار العربية اتباع الوسائل التالية :

الوسائل الاقتصادية :

تلعب الوسائل الاقتصادية وبخاصة السياسات السعرية دوراً أساسياً في مجال ترشيد استعمالات المياه، ولتحديد اسعار المياه لاهد من الأخذ بعين الاعتبار تحديد هيكل التعرفة المعتمدة على تكاليف الانتاج وتوزيع المياه من جهة والظروف الاجتماعية والاقتصادية من جهة ثانية والهدف من ذلك هو التوصل الى سياسة سعرية قابلة للتطبيق.

كما أن الدول العربية مطالبة باستخدام اجراءات تحرير القطاع الصناعي على حماية نوعية المياه نظراً لخطورة التلوث الصناعي وصعوبة معالجته، وذلك من خلال اعادة التدوير Recycling.

الوسائل المؤسسية :

1. من أجل تحقيق أهداف الادارة المتكاملة للموارد المائية يجب أن تكون هناك جهة مركزية تخضع لها كافة أو معظم نشاطات قطاع المياه، وهذا يمثل خطوة سليمة وحلاً مناسباً لمشكلات الازدواجية والتنسيق، كما يحقق درجة عالية من التكامل.

2. كما يمكن أحداث سلطة مركزية من خلال إيجاد مجلس او سلطة تنسيقية فعالة ذات صلاحيات واسعة في هذا المجال.

3. كما أن الادارة المائية على مستوى الأحواض هي الطريقة الأكثر ملائمة لضمان استثمار الموارد المائية من حيث توفير الاحتياجات والحفاظة على الموارد المائية.

4. القيام بتدريب الأجهزة الفنية بالتعاون مع المنظمات ومراكز التدريب الدولية، والسعي لتنظيم برامج دورية تسمح للعاملين لدى المؤسسات المائية بمواكبة التطور العلمي والتكنولوجي في مجال تنمية وإدارة الموارد المائية.

الوسائل التشريعية :

تعد الوسائل التشريعية من أهم الوسائل والآليات التنفيذية والتي ينبغي استخدامها لإدارة الموارد المائية. وتهدف الوسائل التشريعية الى ما يلي :

1. حماية الموارد المائية من خلال منح تراخيص مسبقة من أجل الانتفاع بالمياه.
2. منح تراخيص استثمار المياه السطحية والجوفية ضمن شروط تضمن حماية الموارد المائية.
3. وضع التشريعات الحديثة شروطاً وضوابط صارمة تهدف الى الحد من التلوث والاستنزاف وتجنب اختلاط مياه الطبقات التي تتميز بنوعيات متباينة.
4. يجب على الدول العربية ان تقوم بسن القوانين الخاصة بحماية نوعية المياه أو حماية البيئة، أما ما يعرض تطبيق مثل هذه القوانين فهو عدم وضوح أو كفاية المعلومات عن انتقال وانتشار الملوثات في الأوساط الطبيعية وعن قدرة الأوساط المائية المشبعة وغير المشبعة على التنقية الذاتية.

خلاصة تقييم الموارد المائية في الوطن العربي

1. تشير الدراسات الوطنية الى أن حجم الموارد المائية المتاحة في الوطن العربي لا يتجاوز 300 مليار م³ منها 250 مليار م³ قابلة للتنمية لتوفير امدادات مائية للاستعمالات المختلفة. ومن أجل تحقيق اكتفاء ذاتي بالغذاء سيرتفع الطلب على الماء في الربع الأول من القرن الواحد والعشرين من 330 مليار م³ الى 500 مليار م³ مكعب. أي أن العجز المائي سيصل عام 2025 الى حوالي 200 مليار م³.
2. التنافس على الموارد المائية خاصة في الأحواض المائية الجوفية المشتركة. وبشكل خاص ما يتعرض له الوطن العربي من استنزاف لموارده المائية من قبل تركيا واسرائيل ودول الحوض الأعلى لنهر النيل.
3. تضافر الجهود العربية لمواجهة أزمة المياه مستقبلاً وانتهاج سياسة استراتيجية قومية للأمن المائي العربي كأساس للأمن الغذائي والأمن القومي.
4. تفعيل دور المياه في الخطط التنموية وتخطيط وإدارة الموارد المائية على نحو متكامل من خلال تطوير قطاع المياه.
5. تطوير المعرفة عن استعمالات المياه وتحديثها دورياً عن طريق الرصد المستمر والمراقبة الفعالة للسحب أو الضخ من المصادر المائية الجوفية والسطحية وتقدير كميات الصرف الصحي والصناعي والزراعي، وتحديد مصادر التلوث.

6. ان تنمية الموارد البشرية يجب أن تبدأ بتطوير مناهج التعليم في المدارس والمعاهد والجامعات لتزسيخ مبادئ وأسس حماية وإدارة الموارد المائية.
7. هناك حاجة ماسة لاجراء أبحاث أساسية وتطبيقها لتخفيض تكاليف انتاج المياه بالتحلية ولتشيد استخدامها.
8. يجب أن ترتبط عملية - تنمية الموارد المائية ارتباطا عضويا مع عملية تقييم وإدارة الموارد المائية من خلال آليات للتغذية الراجعة.
9. تعتبر الادارة المتكاملة للموارد المائية من أنجح الطرق المتاحة لتحسين أوضاع الموارد المائية وحمايتها من حيث الكم والنوع.
10. تعتبر ادارة الطلب على الماء من أهم الوسائل لزيادة امدادات المياه، حيث يتم بواسطة ذلك تخفيض الاستهلاك والهدر والفاقد الى الحد الأدنى.
11. ضرورة اتباع سياسة سعرية مناسبة وتحديد تعرفه للماء تأخذ بعين الاعتبار تكاليف انتاجه وتوزيعه والظروف الاجتماعية والاقتصادية، كما تعتبر الوسائل التسعيرية أداة فعالة لإدارة الموارد المائية.
12. تعزيز التعاون بين الدوائر والسلطات والمنظمات العاملة في ميدان المياه في المنطقة العربية وتنسيق العمل فيما بينها وتدعيم الجهود القطرية في مجال تقييم وتنمية وإدارة الموارد المائية من خلال برامج اقليمية تنهض بها المنظمات العربية العاملة في حقل المياه.

المصادر والمراجع

المراجع والمصادر العربية :

1. ابو سمور، حسن، "التصريف المائي لوادي الموجب"، مجلة جامعة دمشق، بحث مقبول للنشر، 1998.
2. آغا، شاهر جمال، "علم المناخ والمياه"، الجزء الثاني، مطبعة الاحسان، دمشق 1987.
3. درادكه، خليفة، "هيدرولوجية المياه الجوفية"، نقابة المهندسين الأردنيين، عمان 1987.
4. الزوكة، محمد، "جغرافية المياه"، دار المعرفة الجغرافية، الاسكندرية 1995.
5. كاشف الفطاء، باقر أحمد، "علم المياه وتطبيقاته"، كلية الهندسة، جامعة بغداد، 1981.
6. كمدنة، حيدر عبد الرزاق، "المياه الجوفية وأهمية حمايتها من التلوث"، آفاق جامعية، العدد 29، 1981.
7. الصحاف، مهدي محمد علي وآخرين، "علم الهيدرولوجي"، المكتبة الوطنية بغداد، 1983.
8. شحادة، نعدان، "المناخ العملي"، مطابع النور النموذجية، عمان، 1983.
9. الخطيب، حامد، "فيضانات نهر الزرقاء والاحوال الجوفية المرافقة لها"،

- رسالة دكتوراه غير منشورة جامعة بغداد، 1997.
10. خوري، جان، "الموارد المائية المتاحة للوطن العربي في مطلع القرن 21"،
مجلة الزراعة والمياه، اكساد، العدد 16، دمشق، 1996.
11. فايد، يوسف، "جغرافية البحار والمحيطات"، دار الثقافة والنشر، القاهرة
1993.
12. عوض الله، محمد نتمي، "الماء"، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة،
1979.
13. وزارة المياه والري الأردنية، "بيانات غير منشورة"، عمان، 1998.
14. ولسون، ي، م. ترجمة نزار علي السبكي وليب خليل اسماعيل
"الهيدرولوجية الهندسية"، جامعة البصرة، 1982.

المراجع والمصادر الأجنبية :

1. Bruce , J.P., (1980), "Int. to Hydrometeorolog", 3rd. ed. Oxford.
2. Chorle , R.H.J. , (1969) , "Water , Earth and Man", Methuen , N. York
3. Eagleman , (1985) , "Meteorology" , 2nd. Ded . Belmont , California .
4. Hammer , M.J. (1981), "Hydrology and Quality of Water Resources" , John Wiley , N.Y.

5. Ionides , M., 1977, "Shall we run short of Water" , Vol. 4 Athens
6. Knapp, B.J. (1979) , "Elements of Geographical Hydrology", George Allen and Un win LTD.
7. Michael , N.D., 1997 , "fundameatals of G.I.S". N.M. state University .
8. Mutrga , K.N. (1986), "Applied Hydrology" , Mc Graw - Hill N. York .
9. Salishbury , D. F., 1977, "World Thisst of Water", Tec. Rev.
10. Sverre, P. 1969 , "Int. to meteorology" , 3rd. ed. Mcgraw - Hill , New York .
11. Stow, K.S., 1979. "Ocean Science" Jogn wiley and sons, N.York.
12. Thurman, H.V. 1983, "Essentials of Oceanography", Belland Hawell Co., Columbus, Ohio.
13. U.N. Water Conf. Sec 1977 , "Assesment of the WorLd Water Situation" , Vol. 43 , No. 254 , Athens .
14. Vladimirescu , I. 1978, "Hydrology" , in Did. Buchares , ed.
15. Ward , R.C. , 1967, "Principles of Hydrology" , Mcgraw - Hill, London .

جغرافية الموارد المائية

كالصفاء للطباعة والنشر والتوزيع



مجمع الفحيص التجاري - هاتف وفاكس ٤٦١٢١٩٠

ص.ب ٩٢٢٧٦٢ - عمان ١١١٢١ - الأردن

